Unité – Dignité -Travail

MINISTÈRE EN CHARGE DE L'AVIATION CIVILE

AUTORITÉ NATIONALE DE L'AVIATION CIVILE



RÈGLEMENT AÉRONAUTIQUE DE CENTRAFRIQUE

RAC 16 – PART 2
PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION



RAC 16 - PART 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 2 de 185
Révision: 00
Date: 01/04/2020

LISTE DES PAGES EFFECTIVES

Chapitre	Page	N° d'Édition	Date d'Édition	N° de Révision	Date de Révision
PG	1	01	Avril 2020	00	Avril 2020
LPE	2-3	01	Avril 2020	00	Avril 2020
ER	4	01	Avril 2020	00	Avril 2020
LA	5	01	Avril 2020	00	Avril 2020
LR	6	01	Avril 2020	00	Avril 2020
TM	7-8	01	Avril 2020	00	Avril 2020
PG	9	01	Avril 2020	00	Avril 2020
INTRDUCTION	10	01	Avril 2020	00	Avril 2020
PARTIE 1	11	01	Avril 2020	00	Avril 2020
CHAPITRE 16.1	12 - 13	01	Avril 2020	00	Avril 2020
CHAPITRE 16.2	14	01	Avril 2020	00	Avril 2020
PARTIE 2	15	01	Avril 2020	00	Avril 2020
CHAPITRE 16.1	16	01	Avril 2020	00	Avril 2020
CHAPITRE 16.2	17	01	Avril 2020	00	Avril 2020
PARTIE 3	18	01	Avril 2020	00	Avril 2020
CHAPITRE 16.1	19 - 20	01	Avril 2020	00	Avril 2020
CHAPITRE 16.2	21 - 28	01	Avril 2020	00	Avril 2020
CHAPITRE 16.3	29 - 33	01	Avril 2020	00	Avril 2020
CHAPITRE 16.4	34 - 37	01	Avril 2020	00	Avril 2020
PARTIE 4	38 - 39	01	Avril 2020	00	Avril 2020
PG-APPENDICE	40	01	Avril 2020	00	Avril 2020
APPENDICE 1	41	01	Avril 2020	00	Avril 2020



RAC 16 - PART 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 3 de 185 Révision: 00

Date: 01/04/2020

APPENDICE 2	42 - 48	01	Avril 2020	00	Avril 2020
APPENDICE 3	49 - 62	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL A	63 - 65	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL B	66 - 68	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL C	69 - 70	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL D	71 - 72	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL E	73 - 79	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL F	80 - 81	01	Avril 2020	00	Avril 2020
APPENDICE 4	82	01	Avril 2020	00	Avril 2020
APPENDICE 5	83 - 99	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL A	100 - 102	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL B	103 - 105	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL C	106 - 107	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL D	108 - 109	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL E	110 - 116	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL F	117	01	Avril 2020	00	Avril 2020
APPENDICE 6	118 - 121	01	Avril 2020	00	Avril 2020
APPENDICE 7	122 - 139	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL A	140 - 146	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL B	147 - 158	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL C	159 - 163	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL D	164	01	Avril 2020	00	Avril 2020
SUPPL E	165 - 172	01	Avril 2020	00	Avril 2020
APPENDICE 8	173 - 187	01	Avril 2020	00	Avril 2020



RAC 16 - PART 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 4 de 185 Révision: 00

Date: 01/04/2020

ENREGISTREMENT DES RÉVISIONS

N° Révision	Date d'Application	Date d'Insertion	Émargement	Remarques
				-



RAC 16 - PART 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 5 de 185 Révision: 00

Date: 01/04/2020

LISTE DES AMENDEMENTS

Page	N° d'Amendement	Date	Motif



RAC 16 - PART 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 6 de 185 Révision: 00

Date: 01/04/2020

LISTE DES RÉFÉRENCES

Référence	Source	Titre	N° d'Édition	Date d'Édition
Annexe 16 Volume 2	I() \(\(\) \(\)	Protection de l'environnement Bruit des Aéronefs	04 ^{ème} Édition	Juillet 2017



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 7 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

TABLE DES MATIÈRES

		PAGES
PARTIE 1	DÉFINITIONS ET SYMBOLES	10
Chapitre 16.1	Définitions	11
Chapitre 16.2	Symboles	13
PARTIE 2	DÉCHARGES DE CARBURANT	14
Chapitre 16.1	Administration	15
Chapitre 16.2	Prévention des décharges intentionnelles de carburant	16
PARTIE 3	DOCUMENT DE CERTIFICATION - ÉMISSIONS	17
Chapitre 16.1	Administration	18
Chapitre 16.2	Turboréacteurs et réacteurs à turbosoufflante destinés à la	20
	propulsion aux vitesses subsoniques seulement	
16.2.1	Généralités	20
16.2.2	Fumée	22
16.2.3	Émissions gazeuses	23
16.2.4	Renseignements nécessaires	25
Chapitre 16.3	Turboréacteurs et réacteurs à turbosoufflante destinés à la	28
	propulsion aux vitesses supersoniques	
16.3.1	Généralités	28
16.3.2	Fumée	28
16.3.3	Émissions gazeuses	30
16.3.4	Renseignements nécessaires	31
Chapitre 16.4	Emission de particules	33
16.4.1	Généralités	33
16.4.2	Emission de particules non volatiles	34
16.4.3	Renseignement nécessaires	35
PARTIE 4	EVALUATION DES PARTICULES NON VOLATILES A DES	37
	FINS D'INVENTAIRESET DE MODELISATION	
PG-APPENDICE	1	39
APPENDICE 1	MESURE DU RAPPORT DE PRESSION DE RÉFÉRENCE	40
APPENDICE 2	ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE FUMÉE	41
APPENDICE 3	INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES	48
	ÉMISSIONS GAZEUSES	
SUPPL A /APP3	Spécification de l'analyseur d'hydrocarbures	62



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 8 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

SUPPL B /APP3	Spécification des analyseurs de CO et de CO ₂	65
SUPPL C /APP3	Spécification de l'analyseur d'oxydes d'azote	68
SUPPL D /APP3	Gaz d'étalonnage et d'essai	70
SUPPL E /APP3	Calcul des paramètres d'émission — base, correction des	72
	mesures et méthode numérique de rechange	
SUPPL F /APP3	Spécifications de données supplémentaires	79
APPENDICE 4	SPÉCIFICATIONS SUR LE CARBURANT À UTILISER	81
	POUR LES ESSAIS D'ÉMISSIONS DE TURBOMACHINES	
APPENDICE 5	INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURES DES	82
	ÉMISSIONS GAZEUSES DES TURBOMACHINES À	
	POSTCOMBUSTION	
SUPPL A /APP5	Spécification de l'analyseur d'hydrocarbures	99
SUPPL B /APP5	Spécification des analyseurs de CO et de CO2	102
SUPPL C /APP5	Spécification de l'analyseur d'oxydes d'azote	105
SUPPL D /APP5	Gaz d'étalonnage et d'essai	107
SUPPL E /APP5	Calcul des paramètres d'émission — base, correction des	109
	mesures et méthode numérique de rechange	
SUPPL F /APP5	Spécifications de données supplémentaires	116
APPENDICE 6	PROCÉDURE DE DÉMONSTRATION DE LA CONFORMITÉ	117
	POUR LES ÉMISSIONS DE GAZ ET DE FUMÉE	
APPENDICE 7	INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES ÉMISSIONS DE PARTICULES NON VOLATILES	121
SUPPL A/APP7	exigences et recommandations concernant un système de prélèvement des nvpm	139
SUPPL B/APP7	spécification relative à l'instrument de mesure de la masse des nvpm et à l'étalonnage	146
SUPPL C/APP7	spécifications et étalonnage pour l'extracteur de particules volatiles et l'instrument donnant le nombre de nvpm	158
SUPPL D/APP7	spécifications pour les données supplémentaires	163
SUPPL E/APP7	procédures pour le fonctionnement du système	164
APPENDICE 8	PROCÉDURES POUR ESTIMER LES CORRECTIONS DE PERTES DE PARTICULES NON VOLATILES NVPM DANS LE SYSTÈME	172



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 9 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

INTRODUCTION

- (a) La République Centrafricaine a conscience des effets néfastes que l'activité aérienne peut exercer sur l'environnement et il sait qu'il lui incombe d'assurer le maximum de compatibilité entre le développement sûr et ordonné de l'aviation civile et la qualité du milieu humain.
- (b) Le présent règlement définit les exigences relatives aux décharges de carburant ainsi que les spécifications concernant la certification des émissions, qui sont applicables aux catégories de moteurs d'aviation spécifiées dans les différents chapitres de ce règlement, dans la mesure où ces moteurs équipent des aéronefs qui participent à l'aviation civile internationale.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 10 de 185 Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

PARTIE 1 - DEFINITIONS ET SYMBOLES

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 11 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

CHAPITRE 16.1: DÉFINITIONS

Les expressions ci-dessous, employées dans le présent Règlement, ont les significations indiquées:

Autorité de l'aviation civile : Autorité Nationale de l'Aviation Civile de la République Centrafricaine.

Certificat de type : Document délivré par un État contractant pour définir la conception d'un type d'aéronef, de moteur ou d'hélice, et pour certifier que cette conception est conforme au règlement applicable de navigabilité de cet État.

Note.— Certains États contractants délivrent un document équivalent au certificat de type pour les moteurs et les hélices.

Date de construction : Date d'émission du document attestant que l'aéronef ou le moteur, selon le cas, est conforme aux spécifications du moteur type ou date d'émission d'un document analogue.

Fumée : Matières charbonneuses présentes dans les gaz d'échappement qui réduisent la transmission de la lumière.

Hydrocarbures non brûlés : Quantité d'hydrocarbures de toutes catégories et de toutes masses moléculaires contenus dans un échantillon de gaz, calculée en équivalent de méthane.

Indice de fumée : Indice sans dimension définissant quantitativement les émissions de fumée. (Voir § 3 de l'Appendice 2.)

OACI: Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

Oxydes d'azote : Somme des quantités de monoxyde d'azote et de dioxyde d'azote contenues dans un échantillon de gaz, calculées comme si le monoxyde d'azote était présent sous forme de dioxyde d'azote.

Particules non volatiles (nvPM): Particules émises présentes dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement d'un moteur à turbine à gaz, qui ne se volatilisent pas lorsqu'elles sont chauffées à une température de 350 °C.

Phase d'approche : Phase d'exploitation définie par le temps pendant lequel le moteur fonctionne au régime d'approche.

Phase de circulation et de ralenti au sol : Phase d'exploitation comprenant la circulation au sol et le fonctionnement au ralenti entre le moment du démarrage des moteurs de propulsion et le début du roulement au décollage et entre le moment où l'aéronef sort de la piste et le moment où tous les moteurs de propulsion sont arrêtés.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 12 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

Phase de décollage : Phase d'exploitation définie par le temps pendant lequel le moteur fonctionne à la poussée nominale.

Phase de montée : Phase d'exploitation définie par le temps pendant lequel le moteur fonctionne au régime de montée.

Postcombustion : Mode de fonctionnement du moteur dans lequel on recourt à un système de combustion alimenté (en tout ou en partie) par l'air vicié.

Poussée nominale : Aux fins des émissions de moteurs, poussée maximale au décollage approuvée par l'Autorité de l'aviation civile pour être utilisée en exploitation normale, dans les conditions statiques, en atmosphère type internationale(ISA) au niveau de la mer, sans injection d'eau. La poussée est exprimée en Kilonewton.

Rapport de pression de référence : Rapport entre la pression totale moyenne à la sortie du dernier étage du compresseur et la pression totale moyenne à l'entrée du compresseur lorsque la poussée du moteur est égale à la poussée nominale de décollage dans les conditions statiques en atmosphère type internationale au niveau de la mer.

Note.- Des méthodes de mesure du rapport de pression de référence sont indiquées à l'Appendice 1.

Tuyères d'échappement : Pour le prélèvement des gaz d'échappement de turbomachines, lorsque les flux d'échappement ne sont pas mélangés (comme c'est le cas par exemple de certains moteurs à turbosoufflante), la tuyère considérée est la tuyère centrale génératrice de gaz uniquement. Cependant, lorsque les flux sont mélangés, on prend la totalité de la tuyère d'échappement.

Version dérivée : Turbomachine d'aéronef de la même famille qu'une turbomachine ayant eu initialement sa certification de type, dont les caractéristiques conservent l'essentiel de la conception du cœur et du générateur de gaz du modèle d'origine et sur laquelle, de l'avis du service de certification, il n'y a pas eu modification d'autres facteurs.

Note.- Il convient de noter que cette définition de «version dérivée» est différente de la définition de «version dérivée d'un aéronef» qui figure dans le RAC 16 – Part 1.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 13 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

CHAPITRE 16.2: SYMBOLES

(a) Les symboles ci-dessous, employés dans le présent règlement, ont les significations indiquées:

CO: Monoxyde de carbone.

D_p: Masse de tout polluant gazeux émis au cours d'un cycle d'émission de référence à l'atterrissage et au décollage.

Fn: Poussée dans les conditions de l'atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer pour le régime de fonctionnement considéré.

F∞: Poussée nominale (voir définition).

F*∞: Poussée nominale avec postcombustion.

HC: Hydrocarbures non brûlés (voir définition).

NO: Monoxyde d'azote.

NO₂: Dioxyde d'azote.

NOx: Oxydes d'azote (voir définition).

SN: Indice de fumée (voir définition).

 π : Rapport de pression de référence (voir définition).



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 14 de 185 Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

PARTIE 2 - DÉCHARGES DE CARBURANT



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 15 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

CHAPITRE 16.1: ADMINISTRATION

- 16.1.1 Les dispositions de la présente partie s'appliquent à tous les aéronefs à turbomachines destinés à être utilisés pour la navigation aérienne internationale, construits après le 18 février 1982.
- 16.1.2 La certification relative à la prévention des décharges intentionnelles de carburant est accordée par l'Autorité de l'aviation civile au vu d'une preuve satisfaisante que l'aéronef ou les moteurs d'aéronef sont conformes aux spécifications du chapitre 2.
 - **Note.-** Le document attestant la certification relative aux décharges de carburant peut prendre la forme d'un certificat-décharges de carburant séparé ou d'une annotation figurant dans un autre document approuvé par l'Autorité de l'aviation civile.
- 16.1.3 La République Centrafricaine reconnaît la validité d'une certification relative aux décharges de carburant accordée par le service de certification d'un autre État contractant à condition que les spécifications selon lesquelles cette certification est accordée ne soient pas moins strictes que les dispositions du présent Règlement.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 16 de 185
Révision: 00
Date: 01/04/2020

CHAPITRE 16.2 : PRÉVENTION DES DÉCHARGES INTENTIONNELLES DE CARBURANT

Les aéronefs doivent être conçus et construits de manière à empêcher les décharges intentionnelles dans l'atmosphère de carburant liquide en provenance des collecteurs d'injection de carburant, résultant de la coupure des moteurs après une utilisation normale en vol ou au sol.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 17 de 185 Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

PARTIE 3 - DOCUMENT DE CERTIFICATION-ÉMISSIONS



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 18 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

CHAPITRE 16.1: ADMINISTRATION

- 16.1.1 Les dispositions des § 16.1.2 à 16.1.5 s'appliquent à tous les moteurs et leurs versions dérivées compris dans les catégories définies, aux fins de la certification-émissions, aux chapitres 16.2, 16.3 et 16.4 lorsque ces moteurs sont installés sur des aéronefs utilisés pour la navigation aérienne internationale.
- 16.1.2 La certification-émissions est accordée par le service de certification au vu d'une preuve satisfaisante que le moteur est conforme à des spécifications qui sont au moins aussi strictes que les dispositions du présent Règlement. La conformité aux niveaux d'émissions spécifiés aux chapitres 16.2 et 16.3 doit être démontrée en utilisant la procédure décrite à l'Appendice 6.

Note : Le document attestant la certification-émissions pourra prendre la forme d'un certificat-émissions séparé ou d'une annotation figurant dans un autre document approuvé par l'Autorité de l'aviation civile.

- 16.1.3 Le document attestant la certification-émissions d'un moteur doit contenir au moins les renseignements suivants qui sont applicables à ce moteur:
 - (a) nom du service de certification;
 - (b) désignation de type et de modèle du constructeur ;
 - (c) indication de toutes modifications supplémentaires apportées au moteur afin de le rendre conforme aux spécifications de certification-émissions applicables ;
 - (d) Poussée nominale;
 - (e) rapport de pression de référence ;
 - (f) déclaration attestant la conformité aux spécifications relatives à l'indice de fumée ;
 - (g) déclaration attestant la conformité aux spécifications relatives aux gaz polluants.
- 16.1.4 La République Centrafricaine reconnaîtra la validité d'une certification-émissions accordée par le service de certification d'un autre État contractant à condition que les spécifications selon lesquelles cette certification a été accordée ne soient pas moins strictes que les dispositions du présent règlement.
- 16.1.5 La République Centrafricaine reconnaîtra la validité des dérogations à une exigence de cessation de production de moteurs qui sont accordées par le service de certification d'un autre État contractant à condition qu'elles aient été consenties conformément aux processus et critères définis dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II -- Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation, de l'OACI.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 19 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

CHAPITRE 16.2 : TURBORÉACTEURS ET RÉACTEURS À TURBOSOUFFLANTE DESTINÉS À LA PROPULSION AUX VITESSES SUBSONIQUES SEULEMENT

16.2.1 GÉNÉRALITÉS

16.2.1.1 Application

- 16.2.1.1.1Les dispositions du présent chapitre s'appliquent aux turboréacteurs et aux réacteurs à turbosoufflante, spécifiés de façon plus précise aux § 16.2.2 et 16.2.3, qui sont destinés à la propulsion aux vitesses subsoniques seulement, sauf dans le cas où les services de certification exemptent de cette application :
 - (a) certains types de moteurs, ainsi que leurs versions dérivées, pour lesquels l'émission du certificat de type de la version de base ou l'exécution de la procédure équivalente prescrite est antérieure au 1er janvier 1965;
 - (b) un nombre limité de moteurs, pour une période déterminée, au-delà des dates d'applicabilité spécifiées aux § 16.2.2 et 16.2.3 concernant la « construction du moteur considéré ».
- 16.2.1.1.2Dans de tels cas, une attestation d'exemption est émise par l'Autorité de l'aviation civile, les plaques d'identification sur les moteurs doivent porter la marque « EXEMPTÉ NOUVEAU » ou « EXEMPTÉ RECHANGE » et la délivrance de l'exemption doit être consignée dans le dossier permanent du moteur. Les exemptions doivent être consignées par numéro de série de moteur et mises à disposition dans un registre officiel public.
- 16.2.1.1.3Les dispositions du présent chapitre s'appliquent aussi aux moteurs conçus pour des applications qui, autrement, auraient été réalisées par des turboréacteurs ou des turbosoufflantes.

Note.- Lorsque l'Autorité de l'aviation civile envisage des exemptions, elle doit tenir compte du nombre probable des moteurs en cause qui seront construits et de leur effet sur l'environnement. Lorsqu'une telle exemption est accordée, l'Autorité de l'aviation civile devra envisager d'imposer une limite de temps à la production des moteurs en question lorsqu'ils sont destinés à être montés sur des aéronefs nouveaux. De plus amples orientations sur la délivrance des exemptions figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II -- Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 20 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

16.2.1.2 Émissions considérées

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

Les émissions suivantes sont réglementées aux fins de la certification des moteurs d'aéronefs :

- Fumée
- Émissions de gaz
 - Hydrocarbures non brûlés (HC);
 - Monoxyde de carbone (CO);
 - Oxydes d'azote (NOx).

16.2.1.3 Unités de mesure

- 16.2.1.3.1L'émission de fumée sera mesurée et exprimée au moyen de l'indice de fumée (SN).
- 16.2.1.3.2La masse (Dp) des polluants gazeux (HC, CO ou NOx) émis au cours du cycle d'émissions de référence à l'atterrissage et au décollage (CAD), défini aux §16.2.1.4.2.et 16.2.1.4.3, sera mesurée et exprimée en grammes.

16.2.1.4 Conditions de référence

16.2.1.4.1 Conditions atmosphériques

Les conditions atmosphériques de référence seront celles de l'atmosphère type internationale au niveau de la mer, sauf pour l'humidité absolue de référence qui sera égale à 0,00634 kg d'eau par kg d'air sec.

16.2.1.4.2Réglages de poussée

Le moteur sera essayé à un nombre de réglages de poussée suffisant pour définir les caractéristiques d'émission de gaz et de fumée de façon que les taux d'émission de gaz et les indices de fumée puissent être déterminés aux pourcentages ci-après de la poussée nominale comme il est convenu par l'Autorité Nationale de l'Aviation Civile.

Régime d'utilisation CAD	Réglage de poussée
Décollage	100 % de Foo
Montée	85 % de Foo
Approche	30 % de Foo
Circulation au sol et ralenti	7% de Foo



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 21 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

16.2.1.4.3 Cycle d'émissions de référence à l'atterrissage et au décollage (CAD) :

Le cycle d'émissions de référence CAD pour le calcul et l'expression des émissions gazeuses est représenté par les temps ci-dessous pour chaque régime d'utilisation.

Régime d'utilisation CAD	Temps au régime
	d'utilisation (minutes)
Décollage	0,7
Montée	2,2
Approche	4,0
Circulation au sol et ralenti	26,0

16.2.1.4.4Spécifications du carburant :

Le carburant utilisé au cours des essais doit répondre aux spécifications de l'Appendice 4.

16.2.1.5 Conditions d'essai

- 16.2.1.5.1 Pour l'exécution des essais, le moteur doit être monté sur son banc d'essai.
- 16.2.1.5.2Le moteur doit être représentatif de la configuration de certification (voir l'Appendice 6); les prélèvements d'air et les entraînements des accessoires autres que ceux qui sont nécessaires au fonctionnement de base du moteur ne doivent pas être simulés.
- 16.2.1.5.3Lorsque les conditions d'essai diffèrent des conditions atmosphériques de référence spécifiées au § 16.2.1.4.1, les résultats d'essai sur les émissions gazeuses doivent être ramenés aux conditions atmosphériques de référence par les méthodes indiquées à l'Appendice 3.

16.2.2 FUMEE

16.2.2.1 Application

Les dispositions du § 16.2.2.2 s'appliquent aux moteurs construits à compter du 1^{er} janvier 1983.

16.2.2.2 Indice de fumée réglementaire

À chaque réglage de poussée des quatre régimes d'utilisation CAD, l'indice de fumée mesuré et calculé conformément aux procédures de l'Appendice 2 ou à des procédures équivalentes approuvées par l'ANAC-Centrafrique et ramené à un niveau caractéristique en appliquant les procédures de l'Appendice 6 ne doit pas dépasser la valeur donnée par la formule ci-après:

Indice de fumée réglementaire = 83,6 (F₀₀)^{-0,274}



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 22 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

50 si la valeur ci-dessus est supérieure à 50

Note : Des éléments indicatifs sur la définition et l'utilisation de procédures équivalentes figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II -- Procédures de certificationémissions des moteurs d'aviation.

16.2.3 ÉMISSIONS GAZEUSES

16.2.3.1 Application

Les dispositions du § 16.2.3.2 s'appliquent aux moteurs dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 kN et qui sont construits à compter du 1er janvier 1986 ou, pour les oxydes d'azote, comme il est spécifié ci-après.

16.2.3.2 Niveaux réglementaires

Les niveaux d'émission de gaz mesurés et calculés conformément aux procédures de l'Appendice 3 et ramenés à des niveaux caractéristiques suivant les procédures de l'Appendice 6, ou des procédures équivalentes approuvées par l'ANAC-Centrafrique, ne doivent pas dépasser pas les valeurs données par les formules ci-après :

Hydrocarbures (HC) : $D_P / F_{00} = 19,6$;

Monoxyde de carbone (CO) : DP/ Foo = 118 ;

Oxydes d'azote (NOx) :

(a) moteurs d'un type ou d'un modèle dont le premier exemplaire de série a été construit avant le 1^{er} janvier 1996 et moteur considéré construit avant le 1^{er} janvier 2000 :

$$D_P/F_{00} = 40 + 2\pi_{00}$$

(b) moteurs d'un type ou d'un modèle dont le premier exemplaire de série a été construit avant le 1^{er} janvier 1996 ou à une date ultérieure ou moteur considéré construit avant le 1^{er} janvier 2000 ou une date ultérieure :

$$D_P/F_{00} = 32 + 1.6\pi_{00}$$

- (c) moteurs d'un type ou d'un modèle dont le premier exemplaire de série a été construit le 1^{er} janvier 2004 ou une date ultérieure :
 - (1) moteurs ayant un rapport de pression égal ou inférieur à 30 :
 - i) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 89,0 kN :

$$D_P/F_{00} = 19 + 1.6\pi_{00}$$



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 23 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

ii) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 26,7kN mais inférieure ou égale à 89,0kN :

$$D_P/F_{00} = 37,572 + 1,6\pi_{00} - 0,2087 F_{00}$$

- (2) moteurs ayant un rapport de pression supérieur à 30 mais inférieure à 62,5 :
 - i) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 89,0kN :

$$D_P / F_{00} = 7 + 2.0 \pi_{00}$$

ii) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 26,7 kN mais inférieure ou égale à 89,0kN :

$$DP/Foo = 42,71 + 1,4286 \pi oo - 0,4013Foo + 0,00642 \pi oo Foo$$

(3) moteurs ayant un rapport de pression égal ou supérieur à 62,5 :

$$D_P/F_{00} = 32 + 1.6 \pi_{00}$$

- (d) moteurs d'un type ou d'un modèle dont le premier exemplaire de série a été construit le 1^{er} janvier 2008 ou à une date ultérieure et moteur construit le 1^{er} janvier 2013 ou à une date ultérieure:
 - (1) moteurs ayant un rapport de pression égal ou inférieur à 30 :
 - i) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 89,0kN :

$$D_P/F_{00} = 16,72 + (1,4080 * \pi_{00})$$

ii) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 26,7kN mais inférieure ou égale à 89,0kN :

$$DP/Foo = 38,5486 + 1,6823\pi oo - 0,2453Foo - 0,00308\pi oo Foo$$

- (2) moteurs ayant un rapport de pression supérieur à 30 mais inférieur à 82,6 :
 - i) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 89,0kN :

$$D_P/F_{00} = -1.04 + 2.0\pi_{00}$$

ii) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 26,7kN mais inférieure à 89,0kN :

$$D_P/F_{00} = 46,1600 + 1,4286\pi_{00} - 0,5303F_{00} + 0,00642\pi_{00}F_{00}$$

(3) moteurs ayant un rapport de pression égal ou supérieur à 82,6 :



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 24 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

$$D_P/F_{00} = 32 + 1.6\pi_{00}$$

- (e) moteurs d'un type ou d'un modèle dont le premier exemplaire de série a été construit le 1er janvier 2014 ou à une date ultérieure:
 - (1) moteurs ayant un rapport de pression égal ou inférieur à 30 :
 - i) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 89,0kN :

$$D_P/F_{00} = 7.88 + 1.4080\pi_{00}$$

ii) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 26,7kN mais inférieure ou égale à 89,0kN :

$$D_P/F_{00} = 40,052 + 1,5681 \, \pi_{00} - 0,3615 \, F_{00} - 0,0018 \, \pi_{00}F_{00}$$

- (2) moteurs ayant un rapport de pression supérieur à 30 mais inférieur à 104,7 :
 - i) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 89,0kN :

$$D_P/F_{00} = -9.88 + 2.0\pi_{00}$$

ii) moteurs d'une poussée nominale maximale supérieure à 26,7kN mais inférieure ou égale à 89,0kN :

$$D_P/F_{00} = 41,9435 + 1,505\pi_{00} - 0,5823F_{00} + 0,005562\pi_{00}F_{00}$$

(3) moteurs ayant un rapport de pression égal ou supérieur à 104,7 :

$$D_P/F_{00} = 32 + 1,6\pi_{00}$$

Note: Des éléments indicatifs sur la définition et l'utilisation de procédures équivalentes figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II -- Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

16.2.4 RENSEIGNEMENTS NÉCESSAIRES

Note.- Les renseignements nécessaires sont divisés en trois groupes:

- (1) renseignements généraux pour identifier les caractéristiques du moteur, le carburant utilisé et la méthode d'analyse des données ;
- (2) données tirées des essais du moteur ;
- (3) résultats tirés des données d'essai.

16.2.4.1 Renseignements généraux



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 25 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

Les renseignements suivants sont fournis pour chaque type de moteur pour lequel une certification-émissions est demandée:

- (a) identification du moteur;
- (b) poussée nominale (en KiloNewton);
- (c) rapport de pression de référence;
- (d) spécification du carburant;
- (e) rapport hydrogène/carbone du carburant;
- (f) méthodes d'obtention des données;
- (g) méthode de correction pour les conditions ambiantes;
- (h) méthode d'analyse des données.

16.2.4.2 Renseignements sur les essais

Les renseignements suivants sont fournis pour chaque moteur soumis aux essais aux fins de certification à chacun des réglages de poussée spécifiés au § 16.2.1.4.2. Ces renseignements seront fournis après correction pour les ramener aux conditions ambiantes de référence, s'il y a lieu:

- (a) débit de carburant (en kilogrammes/seconde);
- (b) indice d'émission (en grammes/kilogramme) pour chaque polluant gazeux ;
- (c) indice de fumée mesuré.

16.2.4.3 Renseignements tirés des essais

- 16.2.4.3.1Les renseignements suivants sont fournis pour chaque moteur soumis aux essais aux fins de certification :
 - (a) taux d'émission, c'est-à-dire l'indice d'émission multiplié par le débit de carburant (en grammes/seconde) pour chaque polluant gazeux ;
 - (b) émission brute totale de chaque polluant gazeux mesurée sur un cycle CAD (en grammes) ;
 - (c) valeur de D_p /F_∞ pour chaque polluant gazeux (en grammes/Kilonewton);
 - (d) indice de fumée maximal.
- 16.2.4.3.2L'indice de fumée caractéristique et les niveaux d'émission des polluants gazeux



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 26 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

doivent être fournis pour chaque type de moteur pour lequel la certification est demandée.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 27 de 185 Révision: OΩ Date: **0**1/04/2020

TURBORÉACTEURS ET RÉACTEURS CHAPITRE 16.3 DESTINÉS À LA PROPULSION **TURBOSOUFFLANTE** VITESSES SUPERSONIQUES

16.3.1 GÉNÉRALITÉS

16.3.1.1 Application

Les dispositions du présent chapitre s'appliquent aux turboréacteurs et aux moteurs à turbosoufflante destinés à la propulsion aux vitesses supersoniques construits à compter du 18 février 1982.

16.3.1.2 Émissions en cause

Les émissions suivantes sont réglementées aux fins de la certification des moteurs d'aéronef :

- Fumée
- Émissions de gaz
 - Hydrocarbures non brûlés (HC);
 - Monoxyde de carbone (CO);
 - Monoxydes d'azote (NOx).

16.3.1.3 Unités de mesure

- 16.3.1.3.1L'émission de fumée est mesurée et exprimée au moyen de l'indice de fumée (SN).
- 16.3.1.3.2La masse (D₂) des polluants gazeux (HC, CO ou NOx) émis au cours du cycle d'émissions de référence à l'atterrissage et au décollage (CAD), défini aux § 16.3.1.5.2 et 16.3.1.5.3, est mesurée et exprimée en grammes.

16.3.1.4 Nomenclature

Dans le présent chapitre, lorsque l'expression F*00 est utilisée, elle doit être remplacée par F00 pour les moteurs qui n'emploient pas la postcombustion. S'il s'agit de la circulation au sol ou du ralenti F∞ est toujours utilisée.

16.3.1.5 Conditions de référence

16.3.1.5.1 Conditions atmosphériques :

Les conditions atmosphériques de référence sont celles de l'atmosphère type internationale au

REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE CENTRAFRIQUE Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 28 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

niveau de la mer, sauf pour l'humidité absolue de référence qui est égale à 0,00634 kg d'eau par kg d'air sec.

16.3.1.5.2 Réglages de poussée

Le moteur doit être essayé à un nombre de réglages de puissance suffisant pour définir les caractéristiques d'émission de gaz et de fumée de façon que les taux d'émission de gaz et les indices de fumée ramenés aux conditions ambiantes de référence puissent être déterminés aux pourcentages ci-après de la poussée nominale comme il est convenu par l'Autorité Nationale de l'Aviation Civile:

Régime d'utilisation	Réglage de poussée
Décollage	100% de F*00
Montée	65 % de F*00
Descente	15 % de F*00
Approche	34 % de F*00
Circulation au sol et ralenti	5,8 % de F ₀₀

16.3.1.5.3 Cycle d'émissions de référence à l'atterrissage et au décollage (CAD)

Le cycle d'émissions de référence CAD pour le calcul des émissions gazeuses est représenté par les temps ci-dessous pour chaque régime d'utilisation.

Régime d'utilisation CAD	Temps au régime d'utilisation (minutes)
Décollage	1,2
Montée	2,0
Descente	1,2
Approche	2,3
Circulation au sol et ralenti	26,0

16.3.1.5.4Spécifications du carburant

Le carburant utilisé au cours des essais doit répondre aux spécifications de l'Appendice 4. Le

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 29 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

carburant ne doit pas contenir d'additifs destinés à supprimer la fumée (tels que des composés organométalliques).

16.3.1.6 Conditions d'essai

- 16.3.1.6.1 Pour l'exécution des essais, le moteur doit reposer sur son banc d'essai.
- 16.3.1.6.2Le moteur doit être représentatif de la configuration de certification (voir Appendice 6); les prélèvements d'air et les entraînements des accessoires autres que ceux qui sont nécessaires au fonctionnement de base du moteur ne seront pas simulés.
- 16.3.1.6.3Les mesures effectuées aux réglages de poussée spécifiées au § 16.3.1.5.2 doivent être effectuées au niveau de postcombustion normalement utilisé, s'il' y a lieu.
- 16.3.1.6.4Lorsque les conditions d'essai diffèrent des conditions de référence spécifiées au § 16.3.1.5, les résultats d'essai seront ramenés aux conditions de référence par les méthodes indiquées à l'Appendice 5.

16.3.2 FUMÉE

16.3.2.3 Indice de fumée réglementaire

À chaque réglage de poussée, l'indice de fumée mesuré et calculé conformément aux procédures de l'Appendice 2 et ramené au niveau caractéristique en appliquant les procédures de l'Appendice 6 ne doit pas dépasser le niveau réglementaire donné par la formule ci-après:

Indice de fumée réglementaire = 83,6 (F*00)-0,274

ou

Indice de fumée réglementaire = 50 si la valeur ci-dessus est supérieure à 50

Note.- Les services de certification peuvent aussi accepter des valeurs obtenues en utilisant la postcombustion, pourvu que la validité de ces données soit démontrée de façon satisfaisante.

16.3.3 ÉMISSIONS GAZEUSES

3.3.1 Niveaux réglementaires

Les niveaux d'émission de gaz mesurés et calculés conformément aux procédures de l'Appendice 3 ou de l'Appendice 5, selon le cas, et ramenés aux niveaux caractéristiques suivant les procédures de l'Appendice 6 ne doivent pas dépasser les niveaux réglementaires donnés par les formules ci-après :

Hydrocarbures (HC) : $D_p / F^*_{\infty} = 140(0.92)^{\pi_{\infty}}$

Monoxyde de carbone (CO) : $D_p / F^*_{\infty} = 4.550 (\pi_{\infty})^{-1.03}$



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 30 de 185 Révision: Date: 01/04/2020

Oxydes d'azote (NO_x) : $D_p / F^*_{oo} = 36 + 2,42 \pi_{oo}$

Note.- Le niveau caractéristique de l'indice de fumée ou émissions de gaz polluants est défini comme étant le quotient de la moyenne des valeurs de tous les moteurs essayés, mesurées et corrigées pour les ramener au moteur de référence et aux conditions ambiantes de référence, par le coefficient correspondant au nombre de moteurs essayés, figurant à l'Appendice 6.

16.3.4 RENSEIGNEMENTS NÉCESSAIRES

Note:- Les renseignements nécessaires sont divisés en trois groupes:

- 1) renseignements généraux pour identifier les caractéristiques du moteur, le carburant utilisé et la, méthode d'analyse des données ;
- 2) données tirées des essais du moteur ;
- 3) résultats tirés des données d'essai.
- 16.3.4.1 Les renseignements suivants seront fournis pour chaque type de moteur soumis aux essais de certification-émissions:
 - (a) identification du moteur;
 - (b) régime nominal de décollage (en Kilonewton);
 - (c) régime nominal de décollage avec postcombustion, s'il y a lieu (en Kilonewton);
 - (d) rapport de pression de référence;
 - (e) spécification du carburant;
 - (f) rapport hydrogène/carbone du carburant;
 - (g) méthodes d'obtention des données;
 - (h) méthode de correction pour les conditions ambiantes;
 - (i) méthode d'analyse des données.

16.3.4.2 Renseignements sur les essais

Les renseignements suivants doivent être fournis pour chaque moteur essayé aux fins de certification à chacun des réglages de poussée spécifiés au § 16.3.1.5.2. Ces renseignements doivent être fournis après avoir été ramenés aux conditions ambiantes de référence, s'il y a lieu:

- (a) débit de carburant (en kilogrammes/seconde);
- (b) indice d'émission (en grammes/kilogramme) pour chaque polluant gazeux;



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 31 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

- (c) pourcentage de poussée fourni par la postcombustion;
- (d) indice de fumée mesuré.
- 16.3.4.3 Renseignements tirés des essais
- 16.3.4.3.1Les renseignements tirés des essais ci-après doivent être fournis pour chaque moteur essayé aux fins de certification:
 - (a) taux d'émission, c'est-à-dire l'indice d'émission multiplié par le débit de carburant (en grammes/seconde) pour chaque polluant ;
 - (b) émission brute totale de chaque polluant gazeux mesurée sur un cycle CAD (en grammes);
 - (c) valeur de D_p /F*₀₀ pour chaque polluant gazeux (en grammes/KiloNewton);
 - (d) indice de fumée maximal.
- 16.3.4.3.2L'indice de fumée caractéristique et les niveaux d'émission des polluants gazeux seront fournis pour chaque type de moteur pour lequel la certification est demandée.

Note.- Le niveau caractéristique de l'indice de fumée ou des émissions de gaz polluants est défini comme étant le quotient de la moyenne des valeurs de tous les moteurs essayés, mesurées et corrigées pour les ramener au moteur de référence et aux conditions ambiantes de référence, par le coefficient correspondant au nombre de moteurs essayés, figurant à l'Appendice 6.

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 32 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

CHAPITRE 16.4 ÉMISSIONS DE PARTICULES

16.4.1 Généralités

16.4.1.1 Application

Les dispositions du présent chapitre s'appliquent à tous les moteurs d'aviation destinés à la propulsion aux vitesses subsoniques seulement, pour lesquels une demande de certification de type est soumise à l'ANAC-Centrafrique. Des dispositions particulières pour les catégories de moteur considérées s'appliquent, comme exposé en détail dans la section 16.4.2.

16.4.1.2 Émissions considérées

La présente section porte sur le contrôle des émissions massiques de particules non volatiles (nvPMmass).

16.4.1.3 Unités de mesure

Les concentrations massiques de nvPM (nvPMmass) sont exprimées en µg/m3.

16.4.1.4 Conditions de référence

16.4.1.4.1 Conditions atmosphériques

Les conditions atmosphériques de référence pour le moteur de référence standard sont celles de l'atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer, sauf l'humidité absolue de référence qui est de 0,00634 kg d'eau par kg d'air sec.

16.4.1.4.2 Émissions de référence correspondant au cycle d'atterrissage et de décollage (CAD)

Le moteur doit être essayé à des réglages de poussée suffisants pour définir ses caractéristiques d'émission de nvPM, de façon à ce que les indices d'émission massique de nvPM (El_{mass}) et les indices d'émission en nombre de nvPM (El_{num}) puissent être déterminés aux pourcentages précis de poussée nominale indiqués ci-après et aux poussées produisant la concentration maximale de nvPM_{mass}, l'El_{mass} maximal et l'El_{num} maximal, comme convenu avec l'Autorité Nationale de l'Aviation Civile :

Régime d'utilisation	Réglage de poussée
Décollage	100% de F∞
Montée	85 % de F∞
Approche	30 % de F∞
Circulation au sol et ralenti	7 % de F∞

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 33 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

16.4.1.4.3Spécifications du carburant

Le carburant utilisé au cours des essais doit répondre aux spécifications de l'Appendice 4.

16.4.1.5 Conditions d'essai

- 16.4.1.5.1 Pour l'exécution des essais, le moteur doit être monté sur son banc d'essai.
- 16.4.1.5.2Le moteur doit être représentatif de la configuration de certification (voir Appendice 6) ; les prélèvements d'air et les entraînements des accessoires autres que ceux qui sont nécessaires au fonctionnement de base du moteur ne doivent pas être simulés.
- 16.4.1.5.3Lorsque les conditions d'essai diffèrent des conditions atmosphériques de référence spécifiées au § 16.4.1.4.1, l'El_{mass} et l'El_{num} doivent être ramenés à la température de l'entrée de la chambre de combustion dans les conditions atmosphériques de référence conformément aux procédures de l'Appendice 7.
- 16.4.1.5.4La concentration maximale de nvPM_{mass}, l'El_{mass} et l'El_{num} doivent être corrigés en fonction des pertes thermophorétiques survenant dans la partie Collecte du système de prélèvement, conformément aux procédures de l'Appendice 7.

16.4.2 Émissions de particules non volatiles

16.4.2.1 Application

Les dispositions spécifiées de façon plus précise aux § 16.4.2.2 et 16.4.2.3 s'appliquent à tous les turboréacteurs et réacteurs à turbosoufflante d'un type ou d'un modèle, et à leurs versions dérivées, dont la poussée nominale est supérieure à 26,7 kN et dont le premier exemplaire a été construit le 1^{er} janvier 2020 ou à une date ultérieure.

16.4.2.2 Niveaux réglementaires

La concentration maximale de nvPM_{mass} [µg/m³] obtenue par des mesures à des réglages de poussée suffisants, de manière à ce que le maximum d'émission puisse être déterminé, et qui a été calculée conformément aux procédures de l'Appendice 7 et ramenée à des niveaux caractéristiques suivant les procédures de l'Appendice 6 ou des procédures équivalentes approuvées par l'Autorité Nationale de l'aviation Civile, ne doit pas dépasser le niveau obtenu par la formule ci-après :

Limite réglementaire de la concentration de $nvPM_{mass} = 10^{(3+2.9F_{00}-0.274)}$

16.4.2.3 Exigence de communication

Le constructeur doit communiquer les valeurs suivantes pour les émissions de nvPM mesurées et calculées conformément aux procédures de l'Appendice 7 ou à des procédures équivalentes approuvées par l'ANAC-Centrafrique :



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 34 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

- (a) niveau caractéristique de la concentration maximale de nvPM_{mass} (µg/m³);
- (b) débit de carburant (kg/s) à chaque réglage de poussée du cycle CAD ;
- (c) Elmass (mg/kg de carburant) à chaque réglage de poussée du cycle CAD;
- (d) Elnum (particules/kg de carburant) à chaque réglage de poussée du cycle CAD;
- (e) Elmass maximal (mg/kg de carburant);
- (f) Elnum maximal (particules/kg de carburant).

16.4.3 Renseignements nécessaires

Note.— Les renseignements nécessaires sont divisés en deux groupes :

- 1) renseignements généraux pour identifier les caractéristiques du moteur, le carburant utilisé et la méthode d'analyse des données ; et
- 2) données obtenues à partir des essais moteur.

16.4.3.1 Renseignements généraux

Les renseignements suivants doivent être fournis pour chaque type de moteur pour lequel une certification en matière d'émissions est demandée :

- (a) identification du moteur ;
- (b) poussée nominale (kN);
- (c) rapport de pression de référence ;
- (d) spécification du carburant ;
- (e) rapport hydrogène/carbone du carburant ;
- (f) méthodes d'obtention des données ;
- (g) méthode de correction pour tenir compte des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte du système de prélèvement ;
- (h) méthode d'analyse des données.

16.4.3.2 Renseignements concernant les essais

Les renseignements suivants doivent être communiqués pour chaque essai :

(a) chaleur nette de combustion (MJ/kg);



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 35 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

- (b) teneur en hydrogène du carburant (% de masse);
- (c) teneur totale en hydrocarbures aromatiques du carburant (% de volume);
- (d) teneur en naphtalènes du carburant (% de volume);
- (e) teneur en soufre du carburant (% de masse).



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 36 de 185 Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

PARTIE 4 - ÉVALUATION DES PARTICULES NON VOLATILES À DES FINS D'INVENTAIRE ET DE MODÉLISATION



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 37 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Note 1.— L'objet de la présente partie est d'énoncer des recommandations sur la manière de calculer les facteurs de correction, en masse et en nombre de nvPM, pour les pertes de nvPM dans le système autres que les pertes thermophorétiques dans la partie Collecte. Le système nvPM, la partie Collecte et le calcul des pertes thermophorétiques sont décrits dans l'Appendice 7.

Note 2.— Les facteurs de correction de pertes dans le système, en masse et en nombre de nvPM, permettent une estimation de la concentration des nvPM en masse et en nombre à la sortie du moteur d'aviation à partir de la concentration de nvPM en masse et en nombre obtenue conformément aux procédures de l'Appendice 7.

- (1) À des fins d'inventaire et de modélisation, les constructeurs de moteurs d'aviation à turbine déterminent les facteurs de correction de pertes dans le système, en masse et en nombre de nvPM (kSL_mass et kSL_num), en employant la méthode décrite dans l'Appendice 8, et qu'ils rendent compte de ces facteurs à l'ANAC-Centrafrique.
- (2) À des fins d'inventaire et de modélisation, les concentrations en masse et en nombre obtenues conformément aux procédures de l'Appendice 7 soient corrigées pour les pertes dans le système selon la méthode décrite dans l'Appendice 8.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 38 de 185
Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

APPENDICES ET SUPPLEMENTS



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 39 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

APPENDICE 1

MESURE DU RAPPORT DE PRESSION DE RÉFÉRENCE

1. GÉNÉRALITÉS

- 1.1 Le rapport de pression doit être déterminé en utilisant un moteur représentatif.
- 1.2Le rapport de pression de référence doit être obtenu en établissant la corrélation entre le rapport de pression mesuré et la poussée du moteur ramenée aux conditions de pression ambiante du jour type, et en reportant cette corrélation sur le rapport de pression correspondant à la poussée nominale de décollage standard du jour type.

2. MESURE

- 2.1La pression totale doit être mesurée au niveau de la sortie du dernier étage du compresseur et à l'entrée du compresseur en disposant au moins quatre sondes de pression de façon à diviser la section du flux d'air en quatre secteurs égaux et en prenant la moyenne des quatre valeurs obtenues.
 - **Note.-** La pression totale de sortie sera mesurée en un point aussi proche que possible de la sortie du compresseur. Cependant, l'Autorité de l'aviation civile peut approuver d'autres moyens d'estimation de la pression totale à la sortie du compresseur si le moteur est conçu de façon que l'installation des sondes de pression mentionnée ci-dessus soit pratiquement impossible pour l'analyse des émissions.
- 2.2Les facteurs de corrélation nécessaires seront déterminés au cours de l'essai de certification de type en utilisant les essais et l'analyse d'au moins un moteur et de tous ses éléments associés.
- 2.3Les procédures utilisées doivent être jugées acceptables par l'Autorité de l'aviation civile.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 40 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

APPENDICE 2 ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE FUMÉE

1. INTRODUCTION ET DÉFINITIONS

Note.- La méthode spécifiée ci-après a pour but le prélèvement d'échantillons représentatifs des gaz d'échappement, leur acheminement jusqu'au dispositif de mesure des émissions et leur analyse dans ce dispositif.

- 1.1L'emploi de toute procédure équivalente à celle indiquée dans le présent appendice ne sera autorisé qu'après approbation par l'Autorité Nationale de l'Aviation Civile.
- 1.2Lorsque les expressions et les symboles suivants sont utilisés dans le présent appendice, ils ont les significations indiquées ci-dessous:

Masse d'échantillon de référence : Masse d'échantillon de 16,2 kg/m2 de superficie de tache de fumée sur le filtre qui, si elle traversait le filtre, produirait une variation de réflectivité représentant la valeur du paramètre SN.

Masse de l'échantillon : Masse d'un échantillon choisi, dont la valeur (exprimée en kilogrammes par mètre carré de superficie de la tache de fumée sur le filtre) se situe dans la gamme prescrite au § 2.5.3 alinéa h), du présent appendice qui produit, si elle traverse le filtre, une variation de réflectivité représentant la valeur du paramètre SN.

Volume de l'échantillon : Volume d'un échantillon choisi (exprimé en mètres cubes) dont la masse équivalente, calculée de la manière indiquée dans le § 3 du présent appendice, est conforme à la définition ci-dessus.

SN: Indice de fumée; expression sans dimension exprimant quantitativement le niveau d'émission de fumée, déterminé d'après la tache de fumée produite sur un filtre par la masse d'échantillon de référence de gaz d'échappement selon un barème allant de 0 à 100 (voir § 3 du présent appendice).

SN': Indice de fumée d'un échantillon donné dont la taille n'est pas nécessairement égale à celle de l'échantillon de référence, tel qu'il est défini au § 3 du présent appendice.

W: Masse en kilogrammes d'un échantillon donné de gaz d'échappement calculée d'après les mesures du volume, de la pression et de la température de l'échantillon (voir § 3 du présent appendice).

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 41 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

2. MESURES DES ÉMISSIONS DE FUMÉE

2.1 SONDE DE PRÉLÈVEMENTS DE FUMÉE

La sonde de prélèvement répondra aux exigences suivantes :

- (a) La partie de la sonde avec laquelle l'échantillon de gaz d'échappement est en contact doit être en acier inoxydable ou d'un autre métal non réactif.
- (b) Si une sonde de prélèvement multiple est utilisée, tous les orifices de prélèvement doivent avoir le même diamètre. La sonde sera conçue de telle manière que 80 % au moins de la chute de pression à travers la sonde se produise aux orifices.
- (c) Le nombre de points de prélèvement ne doit pas être inférieur à 12.
- (d) La section d'échantillonnage sera aussi proche de la sortie de la tuyère d'échappement du moteur que le permet le fonctionnement du moteur, mais elle ne doit en aucun cas se trouver à une distance de la sortie de la tuyère supérieure au rayon de cette dernière.
- (e) Le postulant doit fournir aux services de certification, au moyen de coupes détaillées, la preuve que le modèle et la position de la sonde qu'il propose fournissent un échantillon représentatif pour chaque réglage de poussée prescrit.

2.2 ACHEMINEMENT DES ÉCHANTILLONS DE FUMÉE

- 2.2.1 L'échantillon sera acheminé de la sonde jusqu'au système de collecte des échantillons au moyen d'une tuyauterie de 4,0 mm à 8,5 mm de diamètre intérieur par la voie la plus directe dont la longueur ne doit en aucun cas être supérieure à 25 m. La température de la tuyauterie doit être maintenue ente 60 °C et 175 °C avec une stabilité de ±15 °C, sauf sur la distance nécessaire pour refroidir le gaz de la température d'échappement du moteur à la température de contrôle de la tuyauterie.
- 2.2.2 La tuyauterie d'échantillonnage sera aussi rectiligne que possible. Tout coude inévitable doit avoir un rayon supérieur à dix fois le diamètre intérieur de la tuyauterie. Le matériau de la tuyauterie doit être de nature à empêcher les dépôts de particules ou la production d'électricité statique.

Note.- L'acier inoxydable et le polytétrafluoréthylène (PTFE) chargé de carbone et mis à la masse répondent à cette condition.

2.3 DISPOSITIF D'ANALYSE DE LA FUMÉE

Note.- La méthode prescrite ici est fondée sur la mesure de la diminution de la réflectivité d'un filtre lorsque celui-ci a été traversé par une masse donnée d'un échantillon de gaz d'échappement.

La disposition des divers éléments du dispositif utilisés à cette fin sera celle qui est indiquée

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 42 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

schématiquement sur la Figure A2-1. Une dérivation facultative contournant le débitmètre pourra être installée pour en faciliter la lecture. Les principaux éléments du système doivent correspondre aux spécifications suivantes :

- (a) **Mesure du volume de l'échantillon :** Un compteur humide ou sec sera utilisé pour mesurer le volume de l'échantillon avec une précision de ±2 %. La pression et la température à l'entrée de ce compteur seront également mesurées avec des précisions respectives de 0,2 % et ±2°C.
- (b) **Débit du prélèvement**: Le débit du prélèvement doit être maintenu à une valeur de 14 ± 0,5 L/min et le débitmètre à cette fin doit pouvoir effectuer cette mesure avec une précision de ±5 %.
- (c) **Filtre et support**: Le support de filtre sera construit dans un matériau résistant à la corrosion et placé comme il est indiqué sur la Figure A2-1. Le filtre sera du type Whatman n°4 ou constitué par un matériau équivalent approuvé par l'Autorité de l'aviation civile.
- (d) Robinets: Quatre robinets seront prévus comme l'indique la Figure A2-1.
 - (1) Le robinet A sera un robinet de dérivation à commande rapide à plein débit permettant de diriger l'échantillon à travers le filtre ou vers des circuits de dérivation ou de fermer l'arrivée des gaz.
 - **Note.-** Le robinet A peut, si cela est nécessaire, être composé de deux robinets interconnectés pour exécuter la fonction nécessaire.
 - (2) Les robinets B et C seront des robinets de réglage et ils seront utilisés pour régler le débit dans le dispositif.

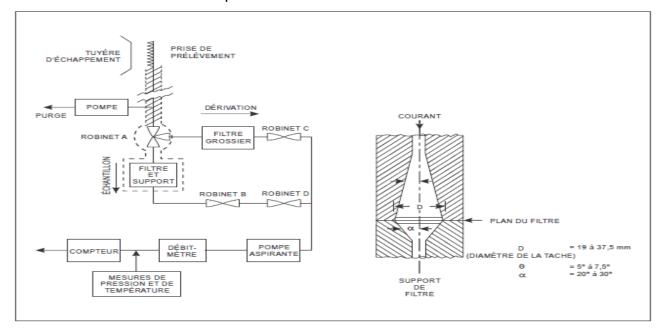


Figure A2-1. Système d'analyse de la fumée



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 43 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

(3) Le robinet D est un robinet d'arrêt permettant d'isoler le support de filtre. Tous

(e) Pompe aspirante. Cette pompe doit supporter sans débiter une dépression de -75 kPa par rapport à la pression atmosphérique; son débit à plein régime ne doit pas être inférieur à 28 litres/minute à la température et à la pression normale.

les robinets seront fabriqués dans un matériau résistant à la corrosion.

(f) Contrôle de la température. La tuyauterie de prélèvement interne de l'analyseur jusqu'au support de filtre sera maintenue à une température comprise entre 60 °C et 175 °C avec une stabilité de ±15 °C.

Note.- L'objet de ce contrôle est d'empêcher la condensation de l'eau avant le support de filtre et à l'intérieur de celui-ci.

- (g) Si l'on veut obtenir un débit plus élevé à la sonde de prélèvement qu'au support de filtre, on peut installer facultativement un séparateur de débit entre la sonde et le robinet A (Figure A21), pour rejeter le débit excédentaire. La tuyauterie de rejet sera aussi proche que possible de la sonde et ne compromettra pas l'aptitude du dispositif d'échantillonnage à maintenir le niveau requis de 80 % de chute de pression à travers la sonde. Le débit rejeté peut aussi être envoyé à l'analyseur de CO2 ou à un système d'analyse complète des émissions.
- (h) Si l'on emploie un séparateur de débit, on fera un essai pour démontrer qu'il ne modifie pas la quantité de fumée qui parvient au support de filtre. On pourra y effectuer cet essai en inversant l'écoulement de la tuyauterie de rejet à partir du séparateur de débit et en montrant que, dans la mesure où la méthode est précise, la quantité de fumée ne change pas.
- (i) Fuite. Le dispositif doit subir avec succès l'essai suivant:
 - (1) fixer un filtre propre dans le support de filtre;
 - (2) fermer le robinet A et ouvrir à fond les robinets B, C et D;
 - (3) mettre en marche la pompe aspirante pendant 1 minute pour atteindre les conditions d'équilibre ;
 - (4) continuer à faire fonctionner la pompe et mesurer le volume qui passe à travers le compteur pendant une période de 5 minutes. Ce volume ne doit pas excéder 5 litres (dans les conditions normales de température et de pression) et le dispositif ne doit pas être utilisé tant que ce résultat ne sera pas atteint.
- (j) Réflectomètre. Les mesures de la densité de réflexion diffuse du filtre seront effectuées à l'aide d'un instrument conforme à la norme ISO 5-4 de l'Organisation internationale de normalisation (norme ISO 5-4:1995 « Photographie Mesurage des densités Partie 4:



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 44 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Conditions géométriques pour la densité instrumentale par réflexion ». Le diamètre du faisceau lumineux du réflectomètre sur le filtre ne doit ni dépasser D/2 ni être inférieur à D/10, D étant le diamètre de la tache sur le filtre indiquée sur la Figure A2-1.

2.4 SPÉCIFICATIONS DU CARBURANT

Le carburant doit être conforme aux spécifications de l'Appendice 4.

2.5 MÉTHODE DE MESURE DE LA FUMÉE

2.5.1 Fonctionnement du moteur

- 2.5.1.1 Le moteur doit être placé sur un banc d'essai statique approprié et convenablement équipé pour des essais de performances de haute précision.
- 2.5.1.2 Les essais doivent être effectués aux réglages de poussée approuvés par l'Autorité de l'aviation civile. Le moteur doit être stabilisé à chaque régime.

2.5.2 Vérifications d'étanchéité et de propreté

On n'effectuera pas de mesures tant que toutes les tuyauteries d'acheminement des échantillons et les robinets ne sont pas chauds et stables. Avant d'entamer une série d'essais le système sera vérifié aux points de vue étanchéité et propreté de la manière suivante :

(a) Vérification d'étanchéité. Isoler la sonde et fermer le robinet de la tuyauterie d'acheminement, effectuer l'essai d'étanchéité spécifié au § 2.3 alinéa h) du présent appendice, mais avec le robinet A ouvert et sur «dérivation», le robinet D fermé et une limite de fuite de 2 L. Remettre en communication la sonde et la tuyauterie.

(b) Vérification de propreté:

- (1) ouvrir les robinets B, C et D;
- (2) mettre en marche la pompe à vide et mettre alternativement le robinet A sur «dérivation» et «échantillon» pour purger tout le système avec de l'air propre pendant 5 minutes;
- (3) mettre le robinet A sur «dérivation»;
- (4) fermer le robinet D et mettre un filtre propre dans le support de filtre. Ouvrir le robinet D;
- (5) mettre le robinet A sur «échantillon» et lorsque 50 kg d'air par mètre carré de filtre ont traversé le filtre, le tourner sur «dérivation»;
- (6) mesurer SN' de la tache de fumée du filtre selon la méthode décrite au § 3 du présent appendice;



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 45 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

(7) si la valeur de SN' dépasse 3, le système doit être nettoyé (ou corrigé de toute autre façon) jusqu'à ce qu'on obtienne une valeur inférieure à 3.

Le système ne doit pas être utilisé tant que les spécifications de ces vérifications d'étanchéité et de propreté n'ont pas été obtenues.

2.5.3 Mesure de la fumée

La mesure de la fumée sera effectuée indépendamment des autres mesures à moins que les valeurs de la fumée ainsi mesurées soient sensiblement inférieures aux valeurs limites ou qu'il puisse être démontré que les valeurs de la fumée obtenues par des mesures simultanées de la fumée et des gaz sont valides, auquel cas cette mesure peut être effectuée en même temps que la mesure des émissions gazeuses. Dans tous les cas, la condition de rayon de courbure de la tuyauterie de prélèvement indiquée au § 2.2.2 du présent appendice doit être rigoureusement respectée. Le dispositif d'analyse de la fumée doit être établi conformément aux spécifications du § 2.3 du présent appendice. Si l'on se reporte à la Figure A2-I, les principales opérations pour l'obtention des taches sur les filtres seront les suivantes :

- (a) Lorsque le moteur tourne avec la sonde en place, le robinet A ne doit pas être fermé, sinon il pourrait se produire des dépôts dans la tuyauterie.
- (b) Tourner le robinet A sur «dérivation», fermer le robinet D et placer un filtre propre dans le support de filtre. Continuer à aspirer les gaz d'échappement dans la dérivation pendant au moins 5 minutes tandis que le moteur a atteint ou presque les conditions d'utilisation prescrites, le robinet C étant réglé de façon à donner un débit de 14 ± 0,5 L/min.
- (c) Ouvrir le robinet D et tourner le robinet A sur «échantillon»; utiliser le robinet B pour rétablir le débit à la valeur indiquée à l'alinéa b).
- (d) Tourner le robinet A sur «dérivation» et fermer le robinet D, placer un filtre propre dans le support de filtre.
- (e) Tandis que le moteur est stabilisé au régime voulu, laisser fonctionner 1 minute avec les réglages indiqués à l'alinéa d).
- (f) Ouvrir le robinet D, tourner le robinet A sur «échantillon», ajuster le débit, si cela est nécessaire, et laisser passer le volume choisi [voir alinéa h).)] avant de tourner le robinet A à nouveau sur «dérivation» et de fermer le robinet D.
- (g) Retirer le filtre taché pour analyse et mettre un filtre propre dans le support de filtre.
- (h) Le volume des échantillons choisis doit être tel que la quantité de gaz d'échappement par mètre carré de filtre soit comprise entre 12 kg et 21 kg et les prélèvements doivent comprendre des échantillons correspondant soit à la valeur de 16,2 kg de gaz d'échappement par mètre carré de filtre, soit à des valeurs l'encadrant de part et d'autre. Le nombre des échantillons pour chaque régime de fonctionnement du moteur ne doit

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 46 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

pas être inférieur à 3 et les manœuvres e) à g) seront répétées si cela est nécessaire.

3. CALCUL DE L'INDICE DE FUMÉE À PARTIR DES DONNÉES DE MESURE

3.1Les échantillons de filtre taché obtenus comme il est indiqué au § 2.5.3 du présent appendice seront analysés à l'aide du réflectomètre spécifié au § 2.3 du présent appendice. Le matériau de fond utilisé doit être noir et avoir une réflectivité absolue inférieure à 3 %. La valeur de la réflectivité absolue de chaque filtre taché Rs sera utilisée pour calculer la réduction de réflectivité au moyen de la formule :

$$SN' = 100(1 - R_s/R_W)$$

où Rw est la réflectivité absolue du filtre propre.

3.2Les masses des différents échantillons seront calculées à l'aide de la formule :

$$W = 0.348 \text{ PV/T x } 10^{-2} \text{ (kg)}$$

dans laquelle P et T sont respectivement la pression de l'échantillon en pascals et la température en kelvins mesurée immédiatement avant l'entrée du compteur. V est le volume mesuré de l'échantillon en mètres cubes.

3.3 Pour chaque régime de moteur, au cas où la taille des échantillons se situerait de part et d'autre de la valeur de référence, les diverses valeurs de SN' et de W seront portées sur un graphique en fonction de log W/A, A étant la surface de la zone tachée du filtre (en mètres carrés). En utilisant la méthode des moindres carrés, la valeur de SN' pour W/A = 16,2 kg/m² sera évaluée et constituera l'indice de fumée (SN) pour le régime moteur considéré. Si l'on n'utilise que des échantillons qui ont la taille de référence, la valeur déclarée de SN sera la moyenne arithmétique des différentes valeurs de SN'.

4. COMMUNICATION DES DONNÉES AU SERVICE DE CERTIFICATION

Les données mesurées seront communiquées au service de certification. De plus, les données suivantes doivent être communiquées pour chaque essai:

- (a) température de l'échantillon;
- (b) pression de l'échantillon;
- (c) volume réel de l'échantillon dans les conditions de prélèvement;
- (d) débit réel de l'échantillon dans les conditions de prélèvement;
- (e) résultat des essais de vérification de fuite et de propreté (voir § 2.5.2 du présent appendice).



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 47 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

APPENDICE 3 INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES ÉMISSIONS GAZEUSES

1. INTRODUCTION

Note.- La méthode spécifiée dans le présent appendice porte sur le prélèvement d'échantillons représentatifs de gaz d'échappement, la transmission de ces échantillons au dispositif de mesure des émissions et l'analyse de ces échantillons dans ce dispositif. La méthode proposée, qui ne s'applique pas aux moteurs avec postcombustion, représente la meilleure et la plus répandue des méthodes dont on dispose.

L'emploi de toute procédure équivalente à celle qui est indiquée dans le présent appendice ne sera autorisé qu'après approbation par l'Autorité de l'aviation civile.

2. DÉFINITIONS

Les expressions ci-dessous, employées dans le présent appendice, ont les significations indiquées :

Analyseur non dispersif à infrarouges : Instrument qui mesure certains composants par absorption de l'énergie infrarouge.

Bruit de fond : Variation aléatoire des indications d'un instrument qui n'est pas associée aux caractéristiques de l'échantillon que l'instrument mesure et qui se distingue des caractéristiques de dérive du zéro de l'instrument ;

Concentration de gaz : Proportion en volume d'un composant dans un mélange de gaz exprimé sous forme de pourcentage en volume ou de parties par million ;

Dérive du zéro : Déplacement avec le temps du zéro d'un instrument par rapport à la position fixée à l'origine lorsqu'il fonctionne avec un gaz exempt du composant à mesurer ;

Détecteur à ionisation de flamme : Détecteur à flamme air-hydrogène qui produit un signal nominalement proportionnel au débit massique des hydrocarbures qui pénètrent dans la flamme par unité de temps; ce signal est généralement fonction du nombre d'atomes de carbone qui entrent dans la flamme ;

Gaz de référence : Mélange de gaz de composition spécifiée et connue, utilisé comme base pour interpréter les réactions d'un instrument en fonction de la concentration du gaz auquel l'instrument réagit ;

Gaz d'étalonnage : Gaz de référence de haute précision utilisé pour l'étalonnage, le réglage et les vérifications périodiques des instruments ;

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 48 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

Gaz zéro : Gaz à utiliser pour déterminer le zéro d'un instrument ;

Interférence : Réaction de l'instrument due à la présence de composants autres que le gaz à mesurer ;

Parties de carbone par million (ppmC): Proportion en moles d'hydrocarbure multipliées par 10⁶, mesurée en équivalent de méthane. Ainsi, une ppm de méthane est exprimée par une ppmC. Pour convertir la concentration en ppm d'un hydrocarbure en ppmC équivalente, on multiplie la concentration en ppm par le nombre d'atomes de carbone par molécule du gaz. Par exemple, une ppm de propane devient 3 ppmC; une ppm d'hexane, 6 ppmC;

Parties par million (ppm) : Concentration en unités de volume d'un gaz par million d'unités de volume du mélange dont le gaz considéré fait partie ;

Pouvoir séparateur : Plus petite variation d'une mesure qui puisse être décelée ;

Précision : Approximation d'une mesure par rapport à la valeur réelle établie indépendamment .

Rapport air/carburant : Quotient du débit massique d'air à travers la section chaude du moteur par le débit massique de carburant qui arrive au moteur ;

Réponse : Variation du signal émis par un instrument sous l'effet d'une variation de la concentration d'un échantillon. Ce terme désigne également le signal émis correspondant à une concentration donnée de l'échantillon ;

Reproductibilité : Précision avec laquelle la mesure d'un échantillon donné immuable peut être reproduite à de courts intervalles sans ajustement de l'instrument ;

Stabilité: Précision avec laquelle la mesure d'un échantillon donné stable peut être maintenue sur une période de temps donnée ;

3. DONNÉES NÉCESSAIRES

3.1 ÉMISSIONS GAZEUSES

On déterminera les concentrations des émissions suivantes :

- (a) Hydrocarbures (HC): évaluation globale de tous les hydrocarbures présents dans les gaz d'échappement.
- (b) Oxyde de carbone (CO).
- (c) Dioxyde de carbone (CO₂).

Note.- Le C0₂ ne fait pas partie des émissions réglementées mais sa concentration est nécessaire pour les calculs et les vérifications.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 49 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

- (d) Oxydes d'azote (NOx): on procédera à une estimation de la somme des deux oxydes, le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO2).
- (e) Monoxyde d'azote (NO).

3.2 AUTRES RENSEIGNEMENTS

Afin de normaliser les données de mesure des émissions et de déterminer quantitativement les caractéristiques d'essai du moteur, les renseignements suivants seront fournis :

- (a) température d'admission;
- (b) humidité d'admission;
- (c) pression atmosphérique;
- (d) rapport hydrogène/carbone du carburant ;
- (e) autres paramètres moteurs nécessaires (par exemple, poussée, vitesses du rotor, températures de la turbine et débit d'air du générateur de gaz).

Ces données seront obtenues soit par mesure directe, soit par calcul comme il est indiqué au Supplément F au présent appendice.

4. DISPOSITION GÉNÉRALE DE L'APPAREILLAGE

On ne doit utiliser aucun produit ni aucun appareil de déshydratation pour traiter l'échantillon qui est acheminé vers les analyseurs d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures. Les spécifications requises pour les divers éléments du dispositif sont données au § 5, mais la liste ci-dessous indique certaines conditions et dérogations :

- (a) Il est admis que chacun des éléments du dispositif comprend les moyens nécessaires de contrôle du débit, de conditionnement et de mesure.
- (b) La nécessité d'une pompe de purge et/ou d'une pompe de prélèvement dépendra de l'aptitude du dispositif à répondre aux spécifications de durée d'acheminement de l'échantillon et de débit dans l'élément analytique du dispositif. Cette aptitude dépend à son tour de la pression de propulsion de l'échantillon et des pertes de charge dans la tuyauterie. On estime que dans la plupart des cas ces pompes seront nécessaires dans certaines conditions de fonctionnement du moteur.
- (c) La position de la pompe de prélèvement par rapport à l'élément analytique du dispositif peut être différente si cela est nécessaire. (Par exemple, certains analyseurs d'hydrocarbures comprennent des pompes de prélèvement et, de ce fait, peuvent être jugés capables d'être utilisés en amont de la pompe de prélèvement du dispositif).

Note.- La Figure A3-1 est un schéma du dispositif de prélèvement et d'analyse des gaz

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 50 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

d'échappement qui indique les spécifications fondamentales des essais sur les émissions des moteurs.

5. DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS

Note.- Nous donnons ci-après une description et une spécification générale des principaux éléments du dispositif de mesure des gaz d'échappement des moteurs. En cas de besoin, des détails complémentaires figurent dans les Suppléments A, B et C au présent appendice.

5.1 SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT

5.1.1 Sonde de prélèvement

La sonde de prélèvement répondra aux exigences suivantes :

- (a) La partie de la sonde avec laquelle l'échantillon de gaz d'échappement est en contact doit être en acier inoxydable ou d'un autre métal non réactif.
- (b) Si une sonde de prélèvement multiple est utilisée, tous les orifices de prélèvement doivent avoir le même diamètre. La sonde sera conçue de telle manière que 80% au moins de la chute de pression à travers la sonde se produisent aux orifices.
- (c) Le nombre de points de prélèvement ne doit pas être inférieur à 12.
- (d) La section d'échantillonnage sera aussi proche de la sortie de tuyère d'échappement du moteur que le permet le fonctionnement du moteur, mais elle ne doit en aucun cas se trouver à une distance de la sortie de la tuyère supérieure au rayon de cette dernière.
- (e) Le postulant fournira au service de certification, au moyen de coupes détaillées, la preuve que le modèle et la position de la sonde qu'il propose fournissent un échantillon représentatif pour chaque réglage de poussée prescrit.

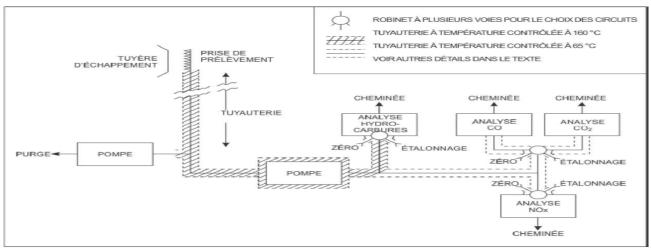


Figure A3-1. Schéma du dispositif de prélèvement et d'analyse



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 51 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

5.1.2 Tuyauteries de prélèvement

L'échantillon sera acheminé de la sonde de prélèvement aux analyseurs au moyen d'une tuyauterie de 4,0 mm à 8,5 mm de diamètre intérieur par la voie la plus directe et en utilisant un débit tel que la durée d'acheminement soit inférieure à 10 secondes. La tuyauterie sera maintenue à une température de 160°C ± 15°C avec une stabilité de ±10°C, sauf a) sur la distance nécessaire pour refroidir le gaz de la température d'échappement du moteur à la température de contrôle de la tuyauterie, et b) sur l'embranchement qui amène les échantillons aux analyseurs de CO, CO² et NOx. Cet embranchement sera maintenu à une température de 65°C ± 15°C (avec une stabilité de ±10 °C). Lorsque le prélèvement a pour objet de mesurer les éléments HC, CO, CO² et NOx, la tuyauterie sera en acier inoxydable ou en PTFE avec charge de carbone et mise à la masse.

5.2 ANALYSEUR D'HYDROCARBURES

La mesure de la teneur globale en hydrocarbures de l'échantillon sera faite au moyen d'un analyseur utilisant un détecteur à ionisation de flamme entre les électrodes duquel passe un courant d'ionisation proportionnel au débit massique des hydrocarbures qui pénètrent dans une flamme d'hydrogène. L'analyseur comprendra des éléments destinés à contrôler la température et les débits de l'échantillon, la dérivation, le carburant et les gaz de dilution et à permettre une vérification effective de l'étalonnage et du zéro.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet dans le Supplément A au présent appendice.

5.3 ANALYSEURS DE CO ET DE CO₂

Pour la mesure de ces éléments on utilisera des analyseurs non dispersifs à infrarouges fondés sur la différence d'absorption d'énergie entre un gaz de référence et le gaz échantillon, l'élément ou le groupe d'éléments de mesure pour chacun de ces gaz étant sensibilisé de manière appropriée. Cet élément analytique comprendra toutes les fonctions nécessaires au contrôle et à l'acheminement des courants de gaz échantillon, zéro et d'étalonnage. Le contrôle de la température doit être approprié à la base de mesure, qu'elle soit sèche ou humide.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet dans le Supplément B au présent appendice.

5.4 ANALYSEUR DE NOx

La concentration de NO doit être mesurée par la méthode de chimiluminescence dans laquelle la concentration de NO est donnée par l'intensité du rayonnement émis au cours de la réaction de NO de l'échantillon sur l'ozone (O₃) ajouté. Le NO₂ sera converti en NO dans un convertisseur ayant le rendement voulu avant la mesure. Le dispositif de mesure des NO_x doit comprendre toutes les commandes de débit, de température et autres commandes et



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 52 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

permettra des vérifications courantes de zéro et d'étalonnage ainsi que de rendement du convertisseur.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet dans le Supplément C au présent appendice.

6. MÉTHODE GÉNÉRALE D'ESSAI

6.1 FONCTIONNEMENT DU MOTEUR

- 6.1.1 Le moteur doit être placé sur un banc d'essai statique convenablement équipé pour des essais de performances de haute précision.
- 6.1.2 Les essais d'émissions doivent être effectués aux réglages de poussée prescrits par l'Autorité de l'aviation civile. Le moteur doit être stabilisé à chaque régime.

6.2 ÉTALONNAGE PRINCIPAL DE L'INSTRUMENT

Note.- Le but général de cet étalonnage est de confirmer la stabilité et la linéarité des mesures.

- 6.2.1 Le postulant doit montrer au service de certification que l'étalonnage du dispositif analytique est valide au moment de l'essai.
- 6.2.2 En ce qui concerne l'étalonnage de l'analyseur d'hydrocarbures, il faudra vérifier que les réponses à l'oxygène du détecteur et les réponses différentielles aux hydrocarbures sont dans les limites précisées dans le Supplément A au présent appendice. Il faudra également vérifier l'efficacité du convertisseur NO₂/NO afin de s'assurer qu'elle est conforme au Supplément C au présent appendice.
- 6.2.3 La méthode de vérification du fonctionnement de chaque analyseur sera la suivante (en utilisant les gaz d'étalonnage et d'essai indiqués au Supplément D au présent appendice):
 - (a) Introduire le gaz zéro et ajuster le zéro de l'instrument en notant ce zéro s'il y a lieu.
 - (b) Pour chaque plage de valeurs à utiliser en exploitation, introduire le gaz d'étalonnage à une concentration correspondant (nominalement) à 90% de la déviation maximale; ajuster l'indication de l'instrument et noter cette indication.
 - (c) Introduire des concentrations de ce gaz correspondant approximativement à 30%, 60% et 90% de la déviation maximale et noter les indications de l'analyseur.
 - (d) Tracer la droite des moindres carrés entre les points correspondant aux concentrations zéro, 30%, 60% et 90%. Pour les analyseurs de CO et/ou de CO₂ utilisés sous leur forme élémentaire sans linéarisation des résultats, on tracera



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 53 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

la courbe de moindres carrés d'une formule mathématique appropriée en utilisant des points d'étalonnage supplémentaires, si on le juge nécessaire. Si un point s'écarte de plus de 2% de la déviation maximale (ou ±1ppm¹, si cette valeur est supérieure), une courbe d'étalonnage pour l'utilisation en exploitation doit être établie.

6.3 EXÉCUTION DES MESURES

- 6.3.1 Aucune mesure ne doit être faite avant que tous les instruments et les tuyauteries d'acheminement de l'échantillon aient été réchauffés et aient atteint une température stable et avant qu'il ait été procédé aux vérifications suivantes :
 - (a) Contrôle des fuites : avant une série d'essais, il faudra s'assurer que le système ne présente pas de fuites en isolant la sonde de prélèvement et les analyseurs, en branchant une pompe aspirante de performances équivalentes à celles de la pompe utilisée dans le dispositif de mesure de la fumée et en la faisant fonctionner, afin de vérifier que le débit des fuites dans le système est inférieur à 0,4 L/min, rapporté à la température et à la pression normales.
 - (b) Contrôle de la propreté : isoler de la sonde de prélèvement le dispositif d'échantillonnage des gaz et relier l'extrémité de la tuyauterie d'échantillonnage à une source de gaz zéro. Réchauffer le système afin de le porter à la température d'utilisation nécessaire pour les mesures d'hydrocarbures. Actionner la pompe de prélèvement et régler le débit au niveau employé pendant les essais sur les émissions du moteur. Enregistrer la lecture de l'analyseur d'hydrocarbures. Elle ne dépassera pas 1 % du niveau d'émission moteur à l'arrêt ou 1 ppm si cette valeur est supérieure (dans les deux cas en équivalent méthane)
- **Note 1.-** Il est bon de purger la tuyauterie pendant que le moteur fonctionne et que la sonde de prélèvement se trouve dans les gaz d'échappement, mais sans que les émissions soient mesurées, pour qu'il ne se produise aucune contamination appréciable.
- **Note 2.-** Il est bon aussi de surveiller la qualité de l'air introduit, et cela au début et à la fin de l'essai ainsi qu'au moins une fois par heure pendant un essai. Si les niveaux sont jugés importants, il convient d'en tenir compte.
 - 6.3.2 La méthode à adopter pour l'exécution des mesures comprendra les opérations suivantes:
 - (a) Introduire le gaz zéro approprié et effectuer les réglages nécessaires de l'instrument.

¹ Sau<u>f pour l'analyseur de CO2 pour lequel la valeur sera de ±100 ppm</u>



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 54 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

- (b) Introduire le gaz d'étalonnage approprié à une concentration nominale correspondant à 90 % de la déviation maximale pour les plages à utiliser, et effectuer les réglages correspondants et les consigner.
- (c) Lorsque le moteur a été stabilisé au réglage de poussée prescrit, relever les concentrations de polluants jusqu'à ce qu'on obtienne une lecture stabilisée qui sera alors notée.
- (d) Vérifier à nouveau le zéro et l'étalonnage à la fin de l'essai ainsi qu'à des intervalles n'excédant pas une heure au cours des essais. Si le zéro et les points d'étalonnage ont varié de plus de ±2 % de la déviation maximale, l'essai sera repris après avoir ramené l'instrument dans les limites spécifiées.

6.4 VÉRIFICATION DU RAPPORT AIR/CARBURANT

Chaque essai comprendra une vérification afin de s'assurer que le rapport air/carburant évalué à partir de la concentration globale de carbone dans l'échantillon, à l'exclusion de la fumée, concorde avec l'évaluation fondée sur le rapport air/carburant du moteur à ±15 % près pour le régime de circulation au sol et de ralenti et à ±10 % près pour les autres régimes (voir § 7.1.2).

7. CALCULS

7.1 ÉMISSIONS GAZEUSES

7.1.1 Généralités

Les mesures d'analyse effectuées porteront sur les concentrations des diverses émissions gazeuses, décelées dans les analyseurs correspondants, à différentes températures à l'entrée du foyer (TB) associées aux quatre régimes d'utilisation CAD. Les indices d'émission (IE) pour chaque gaz seront établis au moyen des calculs exposés au § 7.1.2 ou des méthodes de remplacement définies au Supplément E au présent appendice. Pour tenir compte des écarts par rapport aux conditions atmosphériques de référence, les corrections indiquées au § 7.1.3 seront appliquées. Il convient de noter que ces corrections peuvent aussi être utilisées pour rendre compte des écarts présentés par les moteurs faisant l'objet des essais et le moteur standard de référence, s'il y a lieu [voir Appendice 6, § 1, alinéa f]. La température à l'entrée du foyer (TB) étant utilisée comme paramètre de corrélation, les indices d'émission (IE) et le débit de carburant correspondant au fonctionnement aux quatre régimes d'utilisation CAD d'un moteur standard de référence dans les conditions du jour de référence seront établis au moyen des procédures décrites au § 7.2.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 55 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

7.1.2 Paramètres fondamentaux

 $IE_p(indice d'émission du composant p) = \frac{masse de p produite en g}{masse de carburant utilisée en kg}$

$$\mathrm{IE}(\mathrm{CO}) = \left(\frac{[\mathrm{CO}]}{[\mathrm{CO}_2] + [\mathrm{CO}] + [\mathrm{HC}]}\right) \left(\frac{10^3 M_{\mathrm{CO}}}{M_{\mathrm{C}} + (^n/_m) M_{\mathrm{H}}}\right) \left(1 + [\mathrm{CO}_2] \left(\frac{P_0}{m}\right)\right)$$

$$\mathrm{IE}(\mathrm{HC}) = \left(\frac{\mathrm{[HC]}}{\mathrm{[CO_2]} + \mathrm{[CO]} + \mathrm{[HC]}}\right) \left(\frac{10^3 M_{\mathrm{HC}}}{M_{\mathrm{C}} + (^{10}/_{m}) M_{\mathrm{H}}}\right) \left(1 + \mathrm{[CO_2]} \left(\frac{\mathrm{P_0}}{m}\right)\right)$$

$$\begin{split} \text{IE}(\text{NOx}) &\text{ en NO}_2 = \left(\frac{[\text{NOx}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}\right) \left(\frac{10^3 M_{\text{NO}_2}}{M_{\text{C}} + (^n/_m) M_{\text{H}}}\right) \left(1 + [\text{CO}_2] \left(\frac{P_0}{m}\right)\right) \\ &\text{Rapport} \frac{\text{air}}{\text{carburant}} = \frac{P_0}{m} \left(\frac{M_{\text{AIR}}}{M_{\text{C}} + (^n/_m) M_{\text{H}}}\right) \end{split}$$

οù

$$P_0/m = \frac{2Z - n/m}{4(1 + h_{ord} - [TZ/2])}$$

et

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x]) [\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

Mair masse moléculaire de l'air sec = 28,966 g

ou, s'il y a lieu, = $(32[O_2]_b + 28,1564 [N_2]_b + 44,011[O_2]_b)$ g.

M_{co} masse moléculaire du CO=28,011 g

MHC masse moléculaire des hydrocarbures d'échappement, considérée comme

 $CH_4 = 16,043g$.

 M_{NO_2} masse moléculaire du $NO_2 = 46,008$ g.

Mc masse atomique du carbone = 12,011 g.

 M_H masse atomique de l'hydrogène = 1,008 g.

[O₂]_b concentration de l'oxygène dans l'air sec en volume = 0,2095

 $[N_2]_b$ concentration de l'azote et des gaz rares dans l'air sec en volume = 0,7902

[CO₂]_b concentration moyenne de CO₂ dans l'air sec en volume = 0,0003

[HC] concentration moyenne des hydrocarbures dans les gaz d'échappement en volume,



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 56 de 185 Révision: OΩ

Date: **0**1/04/2020

à l'état humide, exprimée en carbone.

- [CO] concentration moyenne de CO dans l'échantillon, en volume, à l'état humide.
- $[CO_2]$ concentration moyenne de CO₂ dans l'échantillon, en volume, à l'état humide
- [NO_x] concentration moyenne de NO et de NO2 dans l'échantillon, en volume, à l'état humide = [NO+NO₂].
- [NO] concentration moyenne de NO dans l'échantillon, en volume à l'état humide.
- [NO₂] concentration moyenne de NO2 dans l'échantillon, en volume, à l'état humide.

$$= \frac{([NO_x]_c - [NO])}{\eta}$$

- ([NOX]c concentration moyenne de NO dans l'échantillon après passage dans le convertisseur de NO2 en NO, en volume, à l'état humide.
- efficacité du convertisseur de NO2 en NO. η
- hvol humidité de l'air ambiant en volume d'eau /volume d'air sec.
- M nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant.
- Ν nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique du carburant.
- nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique des hydrocarbures Χ des gaz d'échappement.
- nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique des hydrocarbures У des gaz d'échappement.

La valeur de n/m, rapport du nombre d'atomes de carbone au nombre d'atomes d'hydrogène du carburant utilisé, est évaluée au moyen d'une analyse du type de carburant. L'humidité de l'air ambiant h_{vol} sera mesurée pour chaque condition d'essai. En l'absence de preuve du contraire en ce qui concerne la caractérisation (x,y) des hydrocarbures des gaz d'échappement, on utilisera les valeurs x = 1 et y = 4. Si l'on doit utiliser des mesures de CO et de CO₂ à l'état sec ou semi-humide, celles-ci seront d'abord converties en concentration de gaz équivalente à l'état humide comme il est indiqué au Supplément E au présent appendice. qui contient également des formules de correction des interférences à utiliser en cas de besoin.

- 7.1.3 Correction des indices d'émission pour les ramener aux conditions de référence
- 7.1.3.1 Des corrections des indices d'émission mesurés seront effectuées pour tous les polluants à tous les régimes applicables du moteur pour les écarts entre la température et la pression réelles de l'air à l'admission et les conditions



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 57 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

atmosphériques de référence (ISA au niveau de la mer). Ces corrections peuvent aussi être utilisées pour rendre compte des écarts présentés par les moteurs faisant l'objet des essais et le moteur standard de référence, s'il y a lieu [Appendice 6.§ 1,alinéa f)]. La valeur de référence pour l'humidité sera 0,00634 kg d'eau/kg d'air sec. Ainsi IE corrigé = K x IE mesuré où K représente l'expression généralisée suivante:

$$K = (P_{Brief}/P_B)^a \times (FAR_{rief}/FAR_B)^b \times \exp\left([T_{Brief} - T_B]/c\right) \times \exp\left(d[h_{masse} - 0.00634]\right)$$

P_B Pression mesurée à l'entrée de la chambre de combustion.

T_B Température mesurée à l'entrée de la chambre de combustion.

FAR_B Rapport carburant / air dans de la chambre de combustion.

h_{masse} Humidité de l'air ambiant, kg d'eau/kg d'air sec.

Préf Pression ISA au niveau de la mer.

Tréf Température ISA au niveau de la mer.

P_{Bréf} Pression à l'entrée de la chambre de combustion du moteur essayé (ou du moteur de référence si la donnée est corrigée pour la ramener à un moteur de référence) associée à T_B dans les conditions ISA au niveau de la mer.

Température à l'entrée de la chambre de combustion dans des conditions ISA au niveau de la mer pour le moteur essayé (ou le moteur de référence si la donnée doit être corrigée pour la ramener à un moteur de référence). Cette température est la température associée à chaque niveau de poussée spécifié pour chaque régime.

FARréf Rapport carburant /air dans la chambre de combustion dans des conditions ISA au niveau de la mer pour le moteur essayé (ou le moteur de référence si la donnée doit être corrigée pour la ramener à un moteur de référence).

a, b, c, d Constantes spécifiques qui peuvent varier pour chaque polluant et chaque type de moteur.

Les paramètres à l'entrée de la chambre de combustion seront de préférence mesurés, mais ils pourront être calculés à partir des conditions ambiantes au moyen de formules appropriées.

7.1.3.2 L'utilisation de la technique recommandée d'adaptation à la courbe décrite au § 7.2 pour rapporter les indices d'émission à la température l'entrée du foyer élimine effectivement le terme ([T_{Bréf} -T_B]/c) de l'équation généralisée et, dans la plupart des cas, le terme (FAR_{réf} /FAR_B) peut être considéré comme égal à 1. Pour les indices d'émissions de CO et de HC, de nombreux établissements



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 58 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

d'essais ont établi que le terme représentant l'humidité est suffisamment proche de l'unité pour qu'on puisse l'éliminer de l'expression et que l'exposant du terme $(P_{Br\'ef} / P_B)$ est proche de l'unité. Ainsi :

IE(CO) corrigé=IE calculé à partir de la courbe de (PB/PBréf) x IE(CO) en fonction de TB;

IE(HC) corrigé = IE calculé à partir de la courbe de (PB /PBréf) x IE(HC) en fonction de TB;

IE(NOX) corrigé = IE calculé à partir de la courbe de IE(NOx) x $(P_{Bréf}/P_B)^{0.5}$ x exp (19 [hmasse – 0,00634]) en fonction de T_B

Si cette méthode recommandée pour la correction de l'indice d'émissions de CO et de HC ne donne pas une corrélation satisfaisante, on pourra employer une méthode de rechange utilisant des paramètres tirés des essais sur les composants.

Toute autre méthode utilisée pour corriger les indices d'émission de CO, HC et NOx, sera approuvée par l'Autorité Nationale de l'Aviation Civile de la République Centrafricaine.

7.2 PARAMÈTRES DE CONTRÔLE (DP, Foo, et π)

7.2.1 **Définitions**

- D_p Masse de tout polluant gazeux émis au cours d'un cycle d'émission de référence à l'atterrissage et au décollage.
- Foo Poussée nominale (voir Partie 1, Chapitre 1, Définitions)...
- Fn Poussée au régime d'utilisation CAD n(kN)
- Wf Débit massique de carburant du moteur standard de référence dans les conditions de l'atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer. (en kg/s)
- Wfn Débit massique de carburant du moteur standard de référence dans les conditions de l'atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer au régime d'utilisation CADn.
- Rapport entre la pression totale moyenne à la sortie du dernier étage du compresseur et la pression totale moyenne à l'entrée du compresseur lorsque la poussée du moteur est égale à la poussée nominale du décollage dans les conditions statiques en atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer.
 - 7.2.2 Les indices d'émission (IEn) pour chaque polluant, corrigés pour les ramener aux conditions de l'atmosphère de référence et, si cela est nécessaire, au moteur standard de référence, IEn (corrigés) seront déterminés pour chaque régime d'utilisation CAD. Un minimum de trois points d'essai sera nécessaire pour définir le



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 59 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

régime de ralenti. Les relations suivantes seront déterminées dans les conditions atmosphériques de référence pour chaque émission gazeuse :

- (a) entre IE(corrigé) et TB;
- (b) entre Wf et TB;
- (c) entre F et TB;
- Note1.- Ces relations sont illustrées par exemple sur la Figure A3-2 a), b et c).
- **Note 2.** Les relations b) et c) peuvent être déterminées à partir des données d'essai des moteurs ou tirées d'un modèle validé de performances des moteurs.
 - 7.2.2.1 Un moteur de référence est défini comme étant un moteur dont la configuration répond sensiblement à la norme de production de ce type de moteur et dont les caractéristiques de fonctionnement et de performances sont parfaitement représentatives.
 - 7.2.2.2 Le constructeur doit fournir également au service de certification toutes les données nécessaires sur les performances du moteur à l'appui de ces relations et, pour les conditions ambiantes de l'atmosphère type internationale au niveau de la mer :
 - (a) la poussée nominale (Foo);
 - (b) le rapport de pression du moteur (π) à la poussée nominale maximale.

Note.- Ces données sont illustrées sur la Figure A3-2 d)

- 7.2.3 L'évaluation d'IE (corrigé) pour chaque émission gazeuse aux quatre régimes d'utilisation CAD, doit être conforme à la méthode générale suivante :
 - (a) déterminer la température à l'entrée du foyer TB [Figure A3-2 c)] aux valeurs de Fn correspondant aux quatre régimes d'utilisation CAD, n, dans les conditions atmosphériques de référence ;
 - (b) à partir de la caractéristique IE(corrigé) / TB [Figure A3-2 a)], déterminer la valeur IEn correspondant à TB
 - (c) à partir de la caractéristique Wf/TB [Figure A3-2b)], déterminer la valeur Wfn correspondant à TB;
 - (d) noter les valeurs maximales de la poussée nominale et du rapport de pression en atmosphère type internationale. Ces valeurs sont respectivement Foo et [Figure A32 d)];

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 60 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

(e) calculer pour chaque polluant $DP = \Sigma (IE_n) (W_{fn})(t)$ où :

t est le temps au régime CAD (en minutes) ;

Wfn est le débit massique de carburant (en kilogrammes/minute).

Σ est la somme pour l'ensemble des régimes du cycle CAD de référence.

7.2.4 Bien que la méthode décrite ci-dessus soit la méthode recommandée, l'Autorité de l'aviation civile peut accepter une méthode mathématique équivalente qui utilise des expressions mathématiques représentant les courbes illustrées si ces expressions ont été établies en utilisant une technique agréée d'adaptation aux courbes.

7.3 DÉROGATIONS À LA MÉTHODE PROPOSÉE

Dans les cas où la configuration du moteur ou toute autre condition empêcherait d'utiliser cette méthode, l'Autorité de l'aviation civile, après avoir reçu la preuve technique satisfaisante de l'équivalence des résultats obtenus par une autre méthode, peut approuver cette autre méthode.

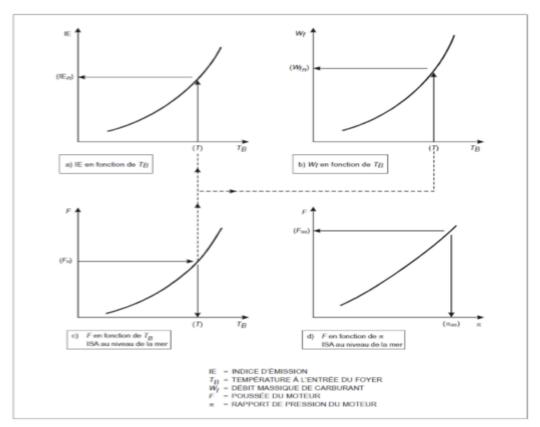


Figure A3-2. Méthode de calcul



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 61 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT A À L'APPENDICE 3 SPÉCIFICATION DE L'ANALYSEUR D'HYDROCARBURES

Note 1.- Comme il est indiqué au § 5.2 de l'Appendice 3, l'élément de mesure de cet analyseur est le détecteur à ionisation de flamme dans lequel l'échantillon ou une partie représentative de celui-ci est envoyé dans une flamme d'hydrogène. Au moyen d'électrodes convenablement disposées, un courant d'ionisation, qui est fonction du débit massique d'hydrocarbures à travers la flamme, peut être établi. C'est ce courant qui, rapporté à un zéro approprié, est amplifié pour donner une indication qui représente la concentration des hydrocarbures exprimés en ppmC équivalente.

Note 2.- Voir le Supplément D pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

1. GÉNÉRALITÉS

Précautions : Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises.

L'instrument utilisé sera tel que la température du détecteur et des éléments d'acheminement des composants soit maintenue à une valeur qui ne descende pas sous 150° C. Les éléments principaux de la spécification seront les suivants, la réaction du détecteur étant optimale et l'instrument étant généralement stabilisé:

- (a) Gamme complète de valeurs: 0 à 5 000 ppmC subdivisée en plages appropriées.
- (b) **Pouvoir séparateur**: supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5% de la déviation maximale utilisée ou 0,5 ppmC.
- (c) **Reproductibilité:** supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±0,5 ppmC.
- (d) **Stabilité:** supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±2 % de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppmC sur une période d'une heure.
- (e) **Dérive du zéro:** inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±0,5 ppmC sur une période d'une heure.
- (f) **Bruit de fond:** 0,5 Hz et plus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±0,5 ppmC;



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 62 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

- (g) **Temps de réponse:** ne dépassera pas 10 secondes depuis l'entrée de l'échantillon dans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90 % de la lecture finale ;
- (h) **Linéarité**: la réaction avec un mélange de propane et d'air doit être linéaire pour chaque plage dans les limites de ±2 % de la déviation maximale, sinon des corrections d'étalonnage doivent être utilisées.

2. EFFETS SECONDAIRES

Note.- Dans l'application de cette méthode, deux phénomènes peuvent influer sur la précision de la mesure :

- (a) l'effet de l'oxygène (en raison duquel des proportions différentes d'oxygène dans l'échantillon donnent des concentrations indiquées d'hydrocarbures différentes pour une même concentration réelle d'hydrocarbures gazeux);
- (b) la réponse relative aux hydrocarbures (réponse différente à une même concentration d'hydrocarbures dans l'échantillon exprimée en ppmC équivalente, selon la nature ou le mélange des hydrocarbures).

L'ampleur des effets notés ci-dessus sera déterminée comme suit et limitée en conséquence.

Réponse à l'oxygène. Mesurer la réponse avec deux mélanges de propane à une concentration d'environ 500 ppmC, connue avec une précision relative de ±1 % :

- (a) propane dans un mélange d'oxygène et d'azote contenant 10 ± 1% d'oxygène;
- (b) propane dans un mélange d'oxygène et d'azote contenant 21 ± 1% d'oxygène.

Si on appelle R_1 et R_2 les réponses respectives normalisées, $(R_1 - R_2)$ doit être inférieure à 3% de R_1 .

Réponse différentielle aux hydrocarbures. Mesurer la réponse avec les quatre mélanges d'hydrocarbures différents ci-dessous dans l'air, à des concentrations de gaz d'environ 500 ppmC, connues avec une précision relative de ±1 % :

- (a) propane dans l'air zéro;
- (b) propylène dans l'air zéro;
- (c) toluène dans l'air zéro ;
- (d) n-hexane dans l'air zéro.

Si Ra, Rb, Rc et Rd sont respectivement les réponses normalisées (par rapport au propane),

 $(R_a - R_b)$, $(R_a - R_c)$ et $(R_a - R_d)$ doivent être inférieures à 5 % de R_a .



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 63 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

3. OBTENTION DE LA RÉPONSE OPTIMALE DU DÉTECTEUR ET RÉGLAGE

- 3.1 Il y a lieu de respecter les instructions du constructeur en ce qui concerne la méthode de réglage initial ainsi que les services et le matériel auxiliaires nécessaires et de laisser l'instrument se stabiliser. Tous les réglages doivent comprendre des vérifications répétées du zéro et sa correction s'il y a lieu. En utilisant comme échantillon un mélange d'environ 500 ppmC de propane dans l'air, on déterminera d'abord la caractéristique de réaction à des variations dans le débit de carburant puis, au voisinage du débit optimal de carburant, à des variations de débit de l'air de dilution afin de choisir sa valeur optimale. On évaluera ensuite la réponse à l'oxygène et la réponse différentielle aux hydrocarbures comme il est indiqué ci-dessus.
- 3.2La linéarité de chaque plage de l'analyseur doit être vérifiée au moyen d'échantillons de propane dans l'air à des concentrations correspondant approximativement à 30%, 60% et 90% de la déviation maximale. L'écart maximal de la réponse en chacun de ces points par rapport à la droite des moindres carrés (entre ces points et le zéro) ne doit pas dépasser ±2 % de la déviation maximale. Si l'écart est supérieur à cette valeur, une courbe d'étalonnage sera établie pour l'utilisation opérationnelle de l'analyseur.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 64 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT B À L'APPENDICE 3 SPÉCIFICATION DES ANALYSEURS DE CO ET DE CO₂

Note 1.- Au § 5.3 de l'Appendice 3 sont résumées les caractéristiques du dispositif d'analyse à employer pour la mesure des concentrations de CO et CO₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement. Les instruments sont fondés sur le principe de l'absorption non dispersive d'un rayonnement infrarouge comparée entre un échantillon de référence et l'échantillon de gaz à analyser. Les plages nécessaires de sensibilité sont obtenues en utilisant un empilage d'éléments d'analyse ou une modification des circuits électroniques ou les deux à la fois. Les interférences produites par des gaz présentant des bandes d'absorption qui chevauchent celles de l'échantillon peuvent être réduites au minimum en utilisant des filtres d'absorption de ces gaz et/ou, de préférence, des filtres optiques.

Note 2.- Voir le Supplément D pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

Précautions : Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises.

Les principales spécifications de fonctionnement seront les suivantes:

Analyseur de CO

- (a) Gamme complète de valeurs: 0 à 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées.
- (b) **Pouvoir séparateur:** supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 1 ppm ;
- (c) **Reproductibilité:** supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm.
- (d) **Stabilité:** supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±2 % de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm sur une période d'une heure.
- (e) **Dérive du zéro:** inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm sur une période d'une heure.
- (f) **Bruit de fond:** 0,5 Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppm.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 65 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

- (g) **Interférences:** doivent être limitées par rapport à la concentration de CO indiquée de la façon suivante :
 - (1) moins de 500 ppm pour une concentration d'éthylène de 1%;
 - (2) moins de 2 ppm pour une concentration de CO₂ de 1 %;
 - (3) moins de 2 ppm pour une concentration de vapeur d'eau de1%.²

Si les limites relatives aux interférences pour le CO₂ et/ou la vapeur d'eau ne peuvent pas être respectées, des facteurs de correction appropriés doivent être déterminés, signalés et appliqués.

Note.- Il est recommandé comme étant conforme aux pratiques admises que ces procédures de correction soient adoptées dans tous les cas.

Analyseur de C0₂

- (a) Gamme complète de valeurs: 0 à 10% subdivisée en plages appropriées.
- (b) Pouvoir séparateur: supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5% de la déviation maximale utilisée ou 100 ppm.
- (c) Reproductibilité: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1% de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm.
- (d) Stabilité: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±2% de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm sur une période d'une heure.
- (e) Dérive du zéro: inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1% de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm sur une période d'une heure.
- (f) Bruit de fond: 0,5 Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm.
- (g) L'effet de l'oxygène (0₂) sur la réponse de l'analyseur de C0₂ sera vérifié. Si la teneur en 0₂ passe de 0% 0₂ à 21% 0₂, la réponse d'une concentration donnée de C0₂ ne doit pas varier de plus de 2% de la lecture. Si cette limite ne peut être respectée, un coefficient de correction approprié sera appliqué.

Note.- Ces procédures de correction doivent être adoptées dans tous les cas.

Analyseurs de CO et de CO₂

(a) **Temps de réponse:** ce temps ne doit pas dépasser 10 secondes depuis le moment où

² Inutile si les mesures sont effectuées à l'état sec



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 66 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

l'échantillon arrive dans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90 % de la lecture finale.

(b) **Température de l'échantillon:** normalement, on procède à l'analyse de l'échantillon dans son état «humide» (non traité), ce qui exige que l'élément d'analyse de l'échantillon et tous les autres éléments en contact avec l'échantillon soient maintenus à une température égale ou supérieure à 50°C avec une stabilité de ±2°C. Il est admis de procéder à la mesure du CO et du CO₂ sur un échantillon sec (avec des moyens appropriés de dessiccation); dans ce cas on peut utiliser des analyseurs non chauffés et supprimer les limites d'interférence pour la vapeur d'eau, une correction ultérieure pour la vapeur d'eau à l'entrée et la vapeur d'eau de combustion étant nécessaire.

(c) Courbes d'étalonnage :

- (1) On vérifiera les analyseurs à caractéristique linéaire de sortie du signal dans toutes les plages de fonctionnement en utilisant des gaz d'étalonnage à des concentrations connues, correspondant approximativement à 0%, 30%, 60% et 90% de la déviation maximale. La déviation à la réponse maximale de n'importe lequel de ces points par rapport à une droite des moindres carrés, ajustée sur ces points et la lecture zéro, ne doit pas dépasser ±2% de la déviation maximale. Si elle est supérieure à cette valeur, une courbe d'étalonnage sera établie pour l'utilisation opérationnelle.
- (2) Pour les analyseurs à caractéristique non linéaire de sortie du signal et ceux qui ne remplissent pas les conditions de linéarité données ci-dessus, on établira des courbes d'étalonnage pour toutes les plages de fonctionnement, en utilisant des gaz d'étalonnage à des concentrations connues correspondant approximativement à 0%, 30%, 60% et 90% de la déviation maximale. Des mélanges supplémentaires seront employés au besoin pour bien définir la forme de la courbe.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 67 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT C À L'APPENDICE 3 SPÉCIFICATION DE L'ANALYSEUR D'OXYDES D'AZOTE

Note.- Voir le Supplément D pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

- (1) Comme il est indiqué au §5.4 de l'Appendice 3, la mesure de la concentration des oxydes d'azote sera effectuée au moyen d'une technique de chimiluminescence dans laquelle le rayonnement émis par la réaction du NO sur O₃ est mesuré. Cette méthode n'est pas applicable au NO₂ et, en conséquence, l'échantillon doit passer à travers un convertisseur qui transforme le NO₂ en NO avant de procéder à la mesure de l'ensemble des oxydes d'azote. Il faudra consigner à la fois la concentration de NO originale et la concentration totale de NO_x On obtiendra ensuite la concentration de NO₂ par différence ;
- (2) L'instrument utilisé doit être complet avec tous les éléments nécessaires de contrôle du débit, tels que régulateurs, robinets, débitmètres, etc. Les matériaux en contact avec l'échantillon de gaz seront des matériaux inattaquables par les oxydes d'azote, tels que de l'acier inoxydable, du verre, etc. La température de l'échantillon sera maintenue partout à des valeurs compatibles avec les pressions locales qui empêchent la condensation de l'eau.

Précautions: Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises.

- (3) Les principales spécifications de fonctionnement, déterminées pour un instrument utilisé dans une température ambiante stable à ±2°C près, seront les suivantes :
 - (a) Gamme complète de valeurs : 0 à 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées.
 - (b) **Pouvoir séparateur :** supérieur à la plus grande des valeurs suivantes : 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 1 ppm.
 - (c) **Reproductibilité**: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes : ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppm.
 - (d) **Stabilité**: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes : ±2% de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppm sur une période d'une heure.
 - (e) **Dérive du zéro :** inférieure à la plus grande des valeurs suivantes : ±1% de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppm sur une période d'une heure.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 68 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

- (f) Bruit de fond : 0,5Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ±1% de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppm sur une période de deux heures.
- (g) **Interférences** : doivent être maintenues, pour des échantillons contenant du C0₂ et de la vapeur d'eau, dans les limites suivantes :
 - (1) moins de 0,05% de la lecture pour une concentration de C02 de 1%;
 - (2) moins de 0,1% de la lecture pour une concentration de vapeur d'eau de 1%.

Si les limites relatives aux interférences pour le C0₂ et/ou la vapeur d'eau ne peuvent pas être respectées, des facteurs de correction appropriés doivent être déterminés, signalés et appliqués.

Note.- Ces procédures de correction doivent être adoptées dans tous les cas.

- (h) **Temps de réponse :** ne doit pas dépasser 10 secondes depuis l'entrée de l'échantillon dans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90% de la lecture finale.
- (i) **Linéarité:** supérieure à la plus grande des deux valeurs suivantes: ±2% de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm.
- (j) Convertisseur : le convertisseur sera conçu et utilisé de façon à convertir le NO2 présent dans l'échantillon en NO. Le convertisseur ne modifiera pas le NO qui se trouvait à l'origine dans l'échantillon.

L'efficacité du convertisseur ne sera pas inférieure à 90 %. Cette valeur de l'efficacité sera utilisée pour corriger la valeur mesurée du NO₂ de l'échantillon (c'est-à-dire [NOx]c - [NO]) pour la ramener à celle qui aurait été obtenue si l'efficacité avait été de 100 %.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 69 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT D À L'APPENDICE 3 GAZ D'ÉTALONNAGE ET D'ESSAI

Tableau des gaz d'étalonnage

Analyseur	Gaz	Précision*
HC	propane dans l'air zéro	±2 % ou ±0,05 ppm**
CO ₂	CO ₂ dans l'air zéro	±2 % ou ±100 ppm**
co	CO dans l'air zéro	±2 % ou ±2 ppm**
NOx	NOx dans l'azote zéro	±2 % ou ±1 ppm**
NOx NOx dans l'azote zéro ±2 % ou ±1 ppm Prise dans l'intervalle de confiance de 95 %. La plus grande des deux valeurs.		

Les gaz ci-dessus sont requis pour effectuer l'étalonnage de routine des analyseurs durant l'utilisation opérationnelle normale.

Tableau des gaz d'essai

Analyseur	Gaz	Précision?
НС	propane dans un mélange d'oxygène et d'azote zéro contenant 10 % ±1 % d'oxygène	±1%
HC	propane dans un mélange d'oxygène et d'azote zéro contenant 21 % ±1 % d'oxygène	±1 %
HC	propylène dans l'air zéro	±1 %
HC	toluène dans l'air zéro	±1 %
HC	n-hexane dans l'air zéro	±1 %
HC	propane dans l'air zéro	±1 %
CO ₂	CO ₂ dans l'air zéro	±1 %
CO ₂	CO ₂ dans l'azote zéro	±1 %
со	CO dans l'air zéro	±1 %
NOx	NO dans l'azote zéro	±1 %

Les gaz ci-dessus sont requis pour effectuer les essais mentionnés dans les Suppléments A, B et C.

Dans les gaz d'étalonnage des analyseurs de CO et CO₂, ces derniers peuvent être mélangés séparément ou ensemble. Des mélanges ternaires de CO, CO₂ et propane dans l'air zéro peuvent être utilisés à condition que la stabilité du mélange soit assurée.

Le gaz zéro spécifié pour l'analyseur de CO, CO₂ et d'hydrocarbures sera l'air zéro (qui comprend l'air «artificiel» composé de 20% à 22% d'oxygène mélangé à de l'azote). Pour l'analyseur de NOx, l'azote zéro sera utilisé comme gaz zéro. Les impuretés dans les deux sortes de gaz zéro doivent être inférieures aux concentrations ci-dessous :



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 70 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

1 ppm de carbone

1 ppm de CO

100 ppm de CO₂

1 ppm de NOX

Le postulant veillera à ce que les gaz qui lui sont fournis commercialement répondent bien à cette spécification, ou soient garantis conformes par le vendeur.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 71 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT E À L'APPENDICE 3 CALCUL DES PARAMÈTRES D'ÉMISSION - BASE, CORRECTION DES MESURES ET MÉTHODE NUMÉRIQUE DE RECHANGE

1. SYMBOLES

1. STMDOLLS		
RAC	rapport air/carburant: rapport entre le débit massique d'air sec et le débit massique de carburant	
IE	indice d'émission: débit massique des produits gazeux d'émission dans les gaz d'échappement correspondant au débit massique unitaire de carburant X 10 ³	
K	rapport entre les concentrations mesurées à l'état humide et à l'état sec (après condensation)	
L, L'	coefficient d'interférence de l'analyseur pour interférence par C02	
M, M'	coefficient d'interférence de l'analyseur pour interférence par H ₂ O	
MAIR	masse moléculaire de l'air sec = $28,966$ g ou, s'il y a lieu, = $(32R+28,1564$ S+44,011T)g	
Мсо	masse moléculaire du CO = 28,011 g	
Мнс	masse moléculaire de l'hydrocarbure dans les gaz d'échappement, considérée comme étant du méthane = 16,043 g	
M _{NO2}	masse moléculaire du NO ₂ = 46,008 g	
M _C	masse atomique du carbone = 12,011 g	
Мн	masse atomique du carbone = 12,011 g masse atomique de l'hydrogène = 1,008 g	
P ₁	nombre de moles de C0 ₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant.	
P ₂	nombre de moles de N ₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant	
P ₃	nombre de moles de 02 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant	
P ₄	nombre de moles de H ₂ O dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant	
P ₅	nombre de moles de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant	
P ₆	nombre de moles de C _x H _y dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant	
P ₇	nombre de moles de NO ₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant	
P ₈	nombre de moles de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de	

concentration de l'oxygène dans l'air sec en volume = 0,2095

 $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$

carburant

Рτ



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 72 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

 $[N_2]_b$ concentration de l'azote et des gaz rares dans l'air sec en volume = 0,7902

[CO₂]_b concentration de CO₂ dans l'air sec en volume = 0,0003

Po nombre de moles d'air par mole de carburant dans le mélange initial air/carburant

Z symbole utilisé et défini au § 3.4

[CO₂] concentration moyenne de CO₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide

[CO] concentration moyenne de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide

[HC] concentration moyenne d'hydrocarbures des gaz d'échappement, en volume, à l'état humide, exprimée en carbone

[NO] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide

[NO₂] concentration moyenne de NO₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide

$$=\frac{([NOx]_c-[NO])}{\eta}$$

[NOx] concentration moyenne de NO + NO₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = $[NO + NO_2]$

[NOx]c concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO₂ en NO, en volume, à l'état humide

[]d concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume

[]_m mesure de la concentration indiquée par l'instrument avant correction, en volume humidité de l'air ambiant, en volume d'eau par volume d'air sec

hd humidité de l'échantillon de gaz d'échappement après dessiccation ou condensation, en volume d'eau par volume d'échantillon sec

m nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant

n nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique du carburant

x nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique des hydrocarbures des gaz d'échappement

y nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique des hydrocarbures des gaz d'échappement

η efficacité du convertisseur de NO₂ en NO

2. BASE DU CALCUL DES INDICES D'ÉMISSION ET DU RAPPORT AIR / CARBURANT

2.1 On admet que l'équilibre entre le mélange original d'air et de carburant et l'échantillon d'émissions gazeuses d'échappement peut être représenté par l'équation suivante:

$$C_mH_n + P_0 [R(O_2) + S(N_2) + T(CO_2) + h_{Vol}(H_2O)] = P_1(CO_2) + P_2(N_2) + P_3(O_2) + P_4(H_2O) + P_5(CO) + P_6(C_xH_y) + P_7(NO_2) + P_8(NO)$$

équation dont on peut, par définition, déduire les paramètres nécessaires :



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 73 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

 $IE(CO) = P_5 \left(\frac{10^3 M_{CO}}{mM_C + nM_H} \right)$

IE(HC) =
$$xP_4 \left(\frac{10^3 M_{HC}}{mM_C + nM_H} \right)$$
 exprime en équivalent de méthane

$$IE(NO_z) = (P_1 + P_z) \left[\frac{10^3 M_{NO_z}}{m M_C + n M_H} \right]$$
 exprimé en équivalent de NO_2

$$RAC = P_0 \left(\frac{M_{AR}}{mM_C + nM_H} \right)$$

- 2.2Les valeurs m et n de la composition des hydrocarbures du carburant sont déterminées par les spécifications du carburant ou par analyse. Si seul le rapport n/m est ainsi déterminé, on peut admettre pour m la valeur de 12. Les fractions moléculaires des constituants-. de l'air sec (R, S, T) sont en général considérées comme étant les valeurs normalisées recommandées, mais d'autres valeurs peuvent être adoptées sous la réserve que R + S + T = 1 et que ces valeurs soient approuvées par l'Autorité Nationale de l'Aviation Civile.
- 2.3L'humidité hvol de l'air ambiant est mesurée pour chaque condition d'essai. Il est recommandé qu'à moins de preuve du contraire en ce qui concerne la caractérisation des hydrocarbures des gaz d'échappement, on adopte les valeurs de x = 1 et y = 4.
- 2.4La détermination des autres inconnues exige la solution de la série ci-après d'équations linéaires simultanées, les équations (1) à (4) découlant des relations fondamentales de la conservation de la matière, et les équations (5) à (9) représentant les relations de concentration des produits gazeux :

$$m+TP_0 = P_1 + P_5 + xP_6$$
 (1)

$$n+2hP_0 = 2P_4 + yP_6$$
 (2)

$$(2R+2T+h_{vol})P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8...$$
 (3)

$$2SP_0 = 2P_2 + P_7 + P_8$$
.....(4)

$$[CO_2] P_T = P_1......(5)$$

$$[CO]P_T = P_5$$
(6)

$$[HC]P_T = XP_{6....}$$
 (7)

$$[NOX]_C P_T = \eta P_7 + P_8...$$
 (8)



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 74 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

$$[NO]P_T = P_8....$$
 (9)

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 \dots (10)$$

L'ensemble d'équations conditionnelles ci-dessus s'applique aux cas où toutes les concentrations mesurées sont des concentrations vraies, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas soumises à des effets d'interférence ou à des corrections dues à la dessiccation de l'échantillon. En pratique, les interférences sont généralement sensibles dans les mesures de CO, NOx et NO, et la possibilité de mesurer le CO₂ et le CO à l'état sec ou semi-humide est souvent utilisée. Les modifications qu'il est nécessaire d'apporter aux équations pertinentes sont indiquées aux § 2.5 et 2.6.

2.5 Les effets d'interférence sont surtout dus à la présence de CO₂ et de H₂O dans l'échantillon, présence qui peut agir fondamentalement, sur les analyseurs de CO et de NOx de différentes façons. Dans le cas de l'analyseur de CO, on observe une tendance à une dérive du zéro, et dans le cas de l'analyseur d'oxydes d'azote, une tendance à une modification de la sensibilité que l'on peut représenter de la façon suivante :

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

Et

$$[NOx]C = [NOx]_{cm} (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

équation qui transforma les équations (6), (8) et (9) de la manière suivante lorsque les effets d'interférence doivent être corrigés:

$$[CO]_m P_T + LP_1 + MP_4 = P_5 \dots (6A)$$

$$[NOx]cm (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta P_7 + P_8 \dots (8A)$$

$$[NO]m (P_T + L'P_1 + M'P_4) = P_8 \dots (9A)$$

2.6La possibilité de mesurer les concentrations de CO₂ et de CO sur un échantillon sec ou semi-humide, c'est-à-dire avec une humidité réduite h_d, exige l'emploi des équations conditionnelles modifiées suivantes :

$$[CO_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 \dots (5A)$$

et

$$[CO]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

Cependant, l'analyseur de CO peut également être sujet à des effets d'interférence comme ceux qui sont décrits § 2.5 de sorte que l'équation de mesure des concentrations de CO devient :

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 75 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

$$[CO]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d (P_T - P_4) = P_5....(6B)$$

3. FORMULES ANALYTIQUES

3.1 GÉNÉRALITÉS

Les équations (1) à (10) peuvent être réduites pour donner les formules analytiques des indices d'émission et des rapports air/carburant indiquées au § 7.1. Cette réduction se fait par élimination successive des racines P_0 , P_1 à P_8 et P_T en admettant que toutes les mesures de concentration sont effectuées sur échantillon humide et n'exigent pas de corrections d'interférence ou autres. En pratique on choisit souvent la possibilité d'effectuer les mesures de concentration de CO_2 et de CO sur un échantillon sec ou semi-humide; aussi est-il souvent nécessaire de procéder à des corrections d'interférence. Les formules à utiliser dans ces diverses conditions sont indiquées aux § 3.2, 3.3 et 3.4 .

3.2ÉQUATION DE CONVERSION DES MESURES DE CONCENTRATION A L'ÉTAT SEC EN MESURES DE CONCENTRATION Á L'ÉTAT HUMIDE

Concentration humide = K x concentration à sec, c'est-à-dire :

$$[] = K[]_d$$

L'expression suivante qui donne K s'applique lorsque les concentrations de CO et de CO₂ sont déterminées sur échantillon sec :

$$K = \frac{\{4 + (n/m) [CO_2]_b + ([n/m] [CO_2]_b - 2h_{vol}) ([NO_2] - (2[HC]/x)) + (2 + h_{vol}) ([y/x] - [n/m]) [HC]\} (1 + h_d)}{(2 + h) \{2 + (n/m) (1 + h_d) ([CO_2]_d + [CO]_d)\} - ([n/m] [CO_2]_b - 2h) (1 - [1 + h_d] [CO]_d)}$$

3.3 CORRECTIONS D'INTERFÉRENCE

Les mesures de CO et/ou d'oxydes d'azote (NO_x) et de NO peuvent exiger des corrections d'interférence dues aux concentrations de CO₂ et d'eau dans l'échantillon avant de les utiliser dans les équations analytiques ci-dessus. Ces corrections peuvent en général s'exprimer de la manière générale suivante:

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

$$[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO2]_d + M\left(\frac{h_d}{1 + h_d}\right)$$

$$[NO] = [NO]_m (1 + L[CO_2] + M[H_2O])$$

$$\eta[NO_2] = ([NO_X]_{cm} - [NO]_m) (1 + L[CO_2] + M[H_2O])$$

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 76 de 185 Révision: 00 Date: 01/04/2020

3.4ÉQUATION POUR LE CALCUL DE LA TENEUR EN EAU DE L'ÉCHANTILLON

La concentration de l'eau dans l'échantillon est donnée par l'équation suivante

$$[H_2O] = \frac{\left(\left[{^{n}/_{2m}} \right] + h_{vol} \left[{^{P_0}/_m} \right] \right) ([CO_2] + [CO] + [HC])}{1 + [CO_2]_b \left({^{P_0}/_m} \right)} - {^{y}/_{2\chi}} ([HC])$$

οù

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])}$$

et

$$Z = \frac{2 - [CO] - ([2/x] - [y/2x]) [HC] + [NO_2]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}$$

Il y a lieu de noter que ce calcul est fonction des lectures de concentration de gaz des diverses analyses qui peuvent elles-mêmes exiger une correction d'interférence pour l'eau. Pour plus de précision une procédure itérative est nécessaire dans ce cas avec calculs successifs de la concentration d'eau jusqu'à ce que la stabilité nécessaire soit obtenue. L'emploi de la méthode numérique de rechange (§ 4) permet d'éviter cette difficulté.

4. MÉTHODE NUMÉRIQUE DE RECHANGE

- 4.1 À la place des méthodes analytiques résumées au § 3, il est possible d'obtenir facilement les indices d'émission, les rapports air/carburant corrigés, les concentrations à l'état humide, etc., au moyen d'une solution numérique des équations (1) à (10) pour chaque série de mesures en utilisant un ordinateur numérique.
- 4.2 Dans la série d'équations (1) à (10), les mesures réelles de concentration sont substituées en utilisant celles des équations de remplacement (5A), (6A), etc., qui s'appliquent au système de mesure considéré afin de tenir compte des corrections d'interférence et/ou des mesures sur échantillon sec.
- 4.3 Des programmes d'ordinateur simples appropriés à la solution d'un ensemble d'équations à deux dimensions sont largement répandus et leur utilisation à cette fin est commode et souple, permettant d'incorporer et d'identifier facilement n'importe quelle possibilité de séchage d'un échantillon et correction d'interférence ou autre.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 77 de 185

 Révision:
 00

Date: **0**1/04/2020



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 78 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT F À L'APPENDICE 3 SPÉCIFICATIONS DE DONNÉES SUPPLÉMENTAIRES

Comme il est spécifié au § 3.2 de l'Appendice 3, en plus des concentrations de gaz mesurées des éléments de l'échantillon, il faudra également fournir les données suivantes :

- a) **température d'admission**: température totale mesurée en un point situé à une distance de la prise d'air du moteur égale au diamètre de cette prise d'air avec une précision de ±0,5 °C;
- b) humidité de l'air d'admission (kg d'eau/kg d'air sec) : cette humidité est mesurée en un point situé dans une limite de 50 mètres de la prise d'air en avant du moteur avec une précision de :
 - 1) ± 5 % de la mesure pour une humidité de l'air ambiant supérieure ou égale à 0,00634 kg d'eau/kg d'air sec, ou
 - 2) ± 0,000317 kg d'eau/kg d'air sec pour une humidité de l'air ambiant inférieure à 0,00634 kg d'eau/kg d'air sec ;
- c) **pression atmosphérique** : cette pression est mesurée dans un rayon de 1 km du banc d'essai du moteur et corrigée selon les besoins pour tenir compte de l'altitude du banc d'essai avec une précision de ±100 Pa ;
- d) **débit massique de carburant :** ce débit est mesuré directement avec une précision de ±2% ;
- e) **rapport H/C du carburant :** ce rapport est égal à la valeur n/m, C_mH_n représentant l'hydrocarbure équivalent du carburant utilisé dans l'essai et évalué en fonction de l'analyse du type de carburant du moteur.
- f) paramètres du moteur :
 - poussée : mesurée directement avec une précision de ±1 % à la puissance de décollage et ±5 % à la poussée minimale utilisée dans l'essai de certification avec variation linéaire entre ces deux points ;
 - 2) vitesses de rotation: mesurées directement avec précision d'au moins ±0,5 %;
 - 3) débit de l'air dans le générateur de gaz: déterminé avec une précision de ±2 % en fonction de l'étalonnage des performances du moteur.

Les paramètres a), b), d) et f) seront déterminés pour chaque régime moteur de l'essai d'émissions tandis que le paramètre c) sera déterminé à des intervalles ne dépassant pas une



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 79 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

heure pendant la durée des essais d'émissions.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 80 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

APPENDICE 4 SPÉCIFICATIONS SUR LE CARBURANT À UTILISER POUR LES ESSAIS D'ÉMISSIONS DE TURBOMACHINES

Le carburant utilisé au cours des essais doit répondre aux spécifications ci-dessous, sauf si une exemption et toutes corrections nécessaires ont été accordées par l'Autorité Nationale de l'Aviation Civile. Le carburant ne doit pas contenir d'additifs destinés à supprimer la fumée (tels que des composés organo-métalliques).

Propriété	Plage de valeurs admissibles
Densité en kg/m³ à 15 °C	780 – 820
Plage de distillation (°C)	
Température de tête (10 %)	155 - 201
Température finale de queue	235 - 285
Chaleur nette de combustion (MJ/kg)	42,86 - 43,50
Pourcentage en volume des carburants aromatiques	15 - 23
Pourcentage en volume des naphtalènes	0.0 - 3.0
Point de fumée (mm)	20 - 28
Pourcentage d'hydrogène (masse)	13,4 - 14,3
Pourcentage de soufre (masse)	moins de 0,3 %
Viscosité cinématique à -20 °C (mm²/s)	2,5-6,5



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

81 de 185 Page: Révision:

Date: **0**1/04/2020

APPENDICE 5 INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES ÉMISSIONS GAZEUSES DES TURBOMACHINES À **POSTCOMBUSTION**

1. INTRODUCTION

Note.- La méthode spécifiée dans le présent appendice porte sur le prélèvement d'échantillons représentatifs de gaz d'échappement, la transmission de ces échantillons au dispositif de mesure des émissions et l'analyse de ces échantillons dans ce dispositif. La méthode proposée ne s'applique qu'aux moteurs avec postcombustion. Elle représente la meilleure et la plus répandue des méthodes modernes dont on dispose. Des corrections sont nécessaires pour tenir compte des conditions ambiantes et une méthode de correction sera spécifiée lorsqu'on en aura trouvé une. En attendant, toute méthode de correction appliquée aux moteurs avec postcombustion pourra être utilisée si elle est approuvée par l'Autorité de l'aviation civile.

Des variations de la méthode recommandée dans le présent appendice ne seront autorisées qu'après approbation par l'Autorité de l'aviation civile.

2. DÉFINITIONS

Quand elles sont employées dans le présent appendice sans autre explication, les expressions ci-dessous ont les significations indiquées:

Analyseur non dispersif à infrarouges : Instrument qui mesure certains composants par absorption de l'énergie infrarouge.

Bruit de fond : Variation aléatoire des indications d'un instrument qui n'est pas associée aux caractéristiques de l'échantillon que l'instrument mesure et qui se distingue des caractéristiques de dérive du zéro de l'instrument.

Concentration: Proportion en volume d'un composant dans un mélange de gaz exprimé sous forme de pourcentage en volume ou de parties par million.

Dérive du zéro : Déplacement avec le temps du zéro d'un instrument par rapport à la position fixée à l'origine lorsqu'il fonctionne avec un gaz exempt du composant à mesurer.

Détecteur à ionisation de flamme : Détecteur à flamme air-hydrogène qui produit un signal nominalement proportionnel au débit massique des hydrocarbures qui pénètrent dans la flamme par unité de temps; ce signal est généralement fonction du nombre d'atomes de carbone qui entrent dans la flamme.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 82 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

Gaz de référence : Mélange de gaz de composition spécifiée et connue, utilisé comme base pour interpréter les réactions d'un instrument en fonction de la concentration du gaz auquel l'instrument réagit.

Gaz d'étalonnage : Gaz de référence de haute précision utilisé pour l'étalonnage, le réglage et les vérifications périodiques des instruments.

Gaz zéro : Gaz à utiliser pour déterminer le zéro d'un instrument.

Interférence : Réaction de l'instrument due à la présence de composants autres que le gaz à mesurer.

Panache : Flux total des gaz d'échappement du moteur, y compris l'air ambiant auquel ils se mélangent.

Parties de carbone par million (ppmC): Proportion en moles d'hydrocarbure multipliées par 106, mesurée en équivalent de méthane. Ainsi, une ppm de méthane est exprimée par une ppmC. Pour convertir la concentration en ppm d'un hydrocarbure en ppmC équivalente, on multiplie la concentration en ppm par le nombre d'atomes de carbone par molécule du gaz. Par exemple, une ppm de propane devient 3 ppmC; une ppm d'hexane, 6 ppmC.

Parties par million (ppm): Concentration en unités de volume d'un gaz par million d'unités de volume du mélange dont le gaz considéré fait partie.

Pouvoir séparateur : Plus petite variation d'une mesure qui puisse être décelée.

Précision : Approximation d'une mesure par rapport à la valeur réelle établie indépendamment.

Réponse : Variation du signal émis par un instrument sous l'effet d'une variation de la concentration d'un échantillon. Ce terme désigne également k signal émis correspondant à une concentration donnée de l'échantillon.

Reproductibilité : Précision avec laquelle la mesure d'un échantillon donné immuable peut être reproduite à de courts intervalles sans ajustement de l'instrument.

Stabilité : Précision avec laquelle la mesure d'un échantillon donné immuable peut être maintenue sur une période de temps donnée.

3. DONNÉES NÉCESSAIRES

3.1 Émissions gazeuses

On déterminera les concentrations des émissions suivantes :

a) **Hydrocarbures (HC)**: évaluation globale de tous les hydrocarbures présents dans les gaz d'échappement.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 83 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

- b) Monoxyde de carbone (CO).
- c) Dioxyde de carbone (CO₂).

Note.- Le C0₂ n'est pas considéré comme un polluant mais sa concentration est nécessaire pour les calculs et les vérifications.

- **d)** Oxydes d'azote (NOx): on procédera à une estimation de la somme de deux oxydes, le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO₂).
- e) Monoxyde d'azote (NO).

3.2 AUTRES RENSEIGNEMENTS

Afin de normaliser les données de mesure des émissions et de déterminer quantitativement les caractéristiques d'essai du moteur, outre les spécifications du chapitre 16.3, § 3.4 du présent règlement, les renseignements suivants seront fournis:

- température d'admission;
- humidité d'admission;
- pression atmosphérique;
- composantes du vent par rapport à l'axe des échappements du moteur ;
- rapport hydrogène/carbone du carburant;
- détails d'installation du moteur ;
- autres paramètres moteurs nécessaires (par exemple, poussée, vitesses du rotor, températures de la turbine et débit d'air du générateur de gaz);
- concentration en polluants et paramètres de validation statistique.

Ces données doivent être obtenues soit par mesure directe, soit par calcul comme il est indiqué au Supplément F au présent appendice.

4. DISPOSITION GÉNÉRALE DE L'APPAREILLAGE

Étant donné la nature réactive du panache d'échappement des moteurs à postcombustion, il faut s'assurer que les émissions mesurées correspondent bien à celles qui sont effectivement produites dans l'atmosphère environnante. Ce résultat est obtenu en prélevant des échantillons dans le panache suffisamment loin du moteur pour que les gaz d'échappement se soient refroidis jusqu'à une température à laquelle il n'y a plus de réaction. Il ne faudra



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 84 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

utiliser ni dessiccateurs, ni séchoirs, ni condenseurs ni autre équipement de ce genre pour traiter les échantillons de gaz d'échappement qui sont acheminés vers les analyseurs d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures. Les spécifications concernant les divers éléments du dispositif sont données plus loin mais la liste ci-dessous indique certaines conditions et dérogations.

- a) Il est admis que chacun des éléments du dispositif comprend les moyens nécessaires de contrôle du débit, de conditionnement et de mesure.
- b) La nécessité d'une pompe de purge et/ou d'une pompe de prélèvement dépendra de l'aptitude du dispositif à répondre aux spécifications de durée d'acheminement de l'échantillon et de débit dans l'élément analytique du dispositif. Cette aptitude dépend à son tour de la pression de propulsion de l'échantillon et des pertes de charge dans la tuyauterie. On estime que dans la plupart des cas ces pompes seront nécessaires dans certaines conditions de fonctionnement du moteur.
- c) La position de la pompe de prélèvement par rapport à l'élément analytique du dispositif peut être différente si cela est nécessaire. (Par exemple, certains analyseurs d'hydrocarbures comprennent des pompes de prélèvement et, de ce fait, peuvent être jugés capables d'être utilisés en amont de la pompe de prélèvement du dispositif.)

Note.- Les Figures A5-1 et A5-2 sont des schémas du dispositif de prélèvement et d'analyse des gaz d'échappement qui indiquent les spécifications fondamentales des essais sur les émissions des moteurs.

5. DESCRIPTION DES ÉLÉMENTS

Note.- Nous donnons ci-après une description et une spécification générale des principaux éléments du dispositif de mesure des gaz d'échappement des moteurs. En cas de besoin, des détails complémentaires figurent dans les Suppléments A, B et C au présent appendice.

5.1 SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT

5.1.1 Sonde de prélèvement

- a) La sonde doit être construite de façon que les différents prélèvements puissent être effectués en divers emplacements le long d'un diamètre du panache. Les mélanges d'échantillons ne seront pas autorisés.
- b) L'équipement avec lequel l'échantillon est en contact doit être en acier inoxydable et sa température maintenue à une valeur qui ne sera pas inférieure à 60 °C.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 85 de 185

Révision: 00

Date: 01/04/2020

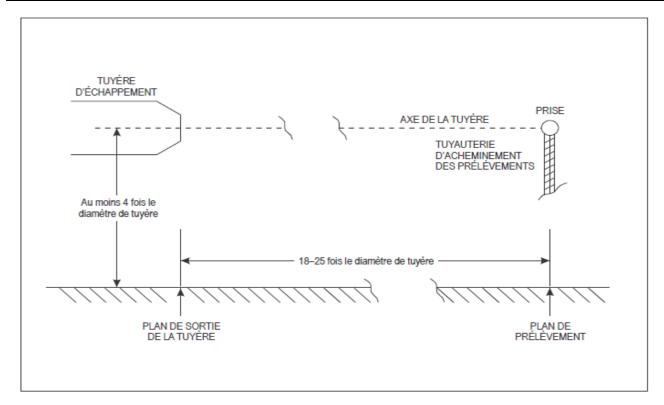


Figure A5-1. Schéma du dispositif de prélèvement des gaz d'échappement

- c) Le plan de prélèvement doit être perpendiculaire à l'axe de la tuyère du moteur étudié et situé à une distance aussi proche que possible de 18 fois le diamètre de la tuyère par rapport au plan de sortie de la tuyère, compatible avec les dispositions du § 7.1.2, mais en aucun cas supérieure à 25 fois le diamètre de la tuyère. Le diamètre de sortie de la tuyère doit correspondre au régime maximal du moteur. Du plan de sortie de la tuyère au plan de prélèvement, il doit y avoir une zone dégagée cylindrique dont le rayon sera égal à au moins quatre diamètres de sortie de la tuyère et dont l'axe sera dans le prolongement de l'axe de la tuyère.
- d) Le nombre de points de prélèvement doit être au minimum de 11. Le plan de mesure, situé à une distance X du moteur, sera divisé en trois parties délimitées par des circonférences centrées sur l'axe du panache et dont les rayons sont respectivement :

R1 = 0.05X

R2 = 0.09X

et un minimum de trois échantillons sera prélevé dans chaque partie. La différence entre les nombres d'échantillons prélevés dans les différentes parties doit être inférieure à 3. L'échantillon prélevé le plus loin de l'axe sera prélevé à une distance de l'axe comprise entre 0,11X et 0,16X.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 86 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

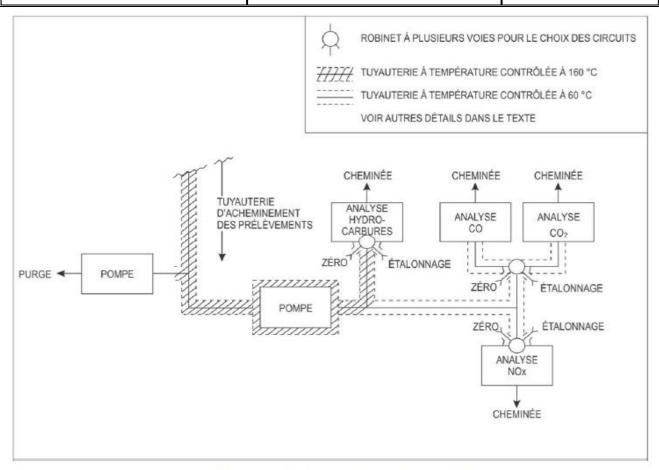


Figure A5-2. Schéma du dispositif d'acheminement et d'analyse

5.1.2 Tuyauteries de prélèvement

L'échantillon doit être acheminé de la sonde de prélèvement aux analyseurs au moyen d'une tuyauterie de 4,0 mm à 8,5 mm de diamètre intérieur par la voie la plus directe et en utilisant un débit tel que la durée d'acheminement soit inférieure à 10 secondes. La tuyauterie sera maintenue à une température de 160°C ± 15°C avec une stabilité de ±10°C. Lorsque le prélèvement a pour objet de mesurer les éléments HC, CO, CO₂ et NOx, la tuyauterie sera en acier inoxydable ou en PTFE avec charge de carbone et mise à la masse.

5.2 ANALYSEUR D'HYDROCARBURES

La mesure de la teneur globale en hydrocarbures de l'échantillon sera faite au moyen d'un analyseur utilisant un détecteur à ionisation de flamme entre les électrodes duquel passe un courant d'ionisation proportionnel au débit massique des hydrocarbures qui pénètrent dans une flamme d'hydrogène. L'analyseur comprendra des éléments destinés à contrôler la température et les débits de l'échantillon, la dérivation, le carburant et les gaz de dilution et à permettre une vérification effective de l'étalonnage et du zéro.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet dans le Supplément A au présent appendice.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 87 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

Autorité Nationale de l'Aviation Civile 5.3 ANALYSEURS de CO et de CO₂

CENTRAFRIQUE

Pour la mesure de ces éléments on utilisera des analyseurs non dispersifs à infrarouges fondés sur la différence d'absorption d'énergie entre un gaz de référence et le gaz échantillon, l'élément ou le groupe d'éléments de mesure pour chacun de ces gaz étant sensibilisé de manière appropriée. Cet élément analytique comprendra toutes les fonctions nécessaires au contrôle et à l'acheminement des courants de gaz échantillon, zéro et d'étalonnage. Le contrôle de la température doit être approprié à la base de mesure, qu'elle soit sèche ou humide.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet dans le Supplément B au présent appendice.

5.4 ANALYSEUR de NOX

La concentration de NO doit être mesurée par la méthode de chimiluminescence dans laquelle la concentration de NO est donnée par l'intensité du rayonnement émis au cours de la réaction de NO de l'échantillon sur l'ozone (O₃) ajouté. Le NO₂ doit être converti en NO dans un convertisseur ayant le rendement voulu avant la mesure. Le dispositif de mesure des NO_x doit comprendre toutes les commandes de débit, de température et autres commandes et permettra des vérifications courantes de zéro et d'étalonnage ainsi que de rendement du convertisseur.

Note.- Une spécification générale est fournie à cet effet dans le Supplément C au présent appendice.

6. MÉTHODE GÉNÉRALE D'ESSAI

6.1 FONCTIONNEMENT DU MOTEUR

Le moteur doit être placé sur un banc d'essai statique à l'air libre convenablement équipé pour des essais de performances de haute précision et conforme aux spécifications concernant l'installation de la sonde de prélèvement indiquées au § 5.1.Les essais d'émissions doivent être effectués au régime de puissance prescrit par l'Autorité de l'aviation civile. Le moteur doit être stabilisé à chaque régime.

6.2 CONDITIONS ATMOSPHERIQUES AMBIANTES

6.2.1 On vérifiera les concentrations de l'air ambiant en CO, HC, CO2 et NOx, le moteur à essayer étant en fonctionnement dans les conditions d'essai. Des concentrations exceptionnellement élevées indiquent des conditions anormales : recirculation des gaz d'échappement, par exemple, une fuite de carburant ou la présence d'autres sources d'émissions indésirables dans la zone d'essai, situation qu'il faudra corriger ou éviter, selon le cas.

Note.— À titre indicatif, la concentration normale ambiante est de 0,03 % pour le CO₂, et il est peu probable que les niveaux de concentration de 5 ppm pour le CO et les HC et de 0,5 ppm

REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE CENTRAFRIQUE

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 88 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

pour le NOx soient dépassés dans les conditions ambiantes normales.

6.2.2 Il faudra également éviter des conditions climatiques extrêmes (pluie ou vent trop fort, par exemple).

6.3 ÉTALONNAGE PRINCIPAL DE L'INSTRUMENT

Note.- Le but général de cet étalonnage est de confirmer la stabilité et la linéarité des mesures.

- 6.3.1 Le postulant doit démontrer au service de certification que l'étalonnage du dispositif analytique est valide au moment de l'essai.
- 6.3.2 En ce qui concerne l'étalonnage de l'analyseur d'hydrocarbures, il faudra vérifier que les réactions à l'oxygène du détecteur et les réactions différentielles aux hydrocarbures sont dans les limites précisées dans le Supplément A au présent appendice. Il faudra également vérifier l'efficacité du convertisseur NO₂/NO afin de s'assurer qu'elle est conforme au Supplément C au présent appendice
- 6.3.3 La méthode de vérification du fonctionnement de chaque analyseur sera la suivante (en utilisant les gaz d'étalonnage et d'essai indiqués au Supplément D au présent appendice) :
 - a) Introduire le gaz zéro et ajuster le zéro de l'instrument en notant ce zéro,s'il y a lieu.
 - b) Pour chaque plage de valeurs à utiliser en exploitation, introduire le gaz d'étalonnage à une concentration correspondant (nominalement) à 90 % de la déviation maximale; ajuster l'indication de l'instrument et noter cette indication.
 - c) Introduire des concentrations de ce gaz correspondant approximativement à 30%, 60% et 90% de la déviation maximale et noter les indications de l'analyseur.
 - d) Tracer la droite des moindres carrés entre les points correspondant aux concentrations zéro, 30%, 60% et 90%. Pour les analyseurs de CO et/ou de CO₂ utilisés sous leur forme élémentaire sans linéarisation des résultats, on tracera la courbe des moindres carrés d'une formule mathématique appropriée en utilisant de points d'étalonnage supplémentaires, si on le juge nécessaire. Si un point s'écarte de plus de 2% de la déviation maximale (ou ±1 ppm³, si cette valeur est supérieure), une courbe d'étalonnage pour l'utilisation en exploitation doit être établie.

6.4 EXÉCUTION DES MESURES

6.4.1 Aucune mesure ne sera faite avant que tous les instruments et les tuyauteries

³ Sauf pour l'analyseur de CO2, pour lequel la valeur sera de ±100 ppm.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 89 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

d'acheminement de l'échantillon aient été réchauffés et aient atteint une température stable et avant qu'il ait été procédé aux vérifications suivantes :

- a) contrôle des fuites: avant une série d'essais, il faudra s'assurer que le système ne présente pas de fuites en isolant la sonde de prélèvement et les analyseurs, en branchant une pompe aspirante de performances équivalentes à celles de la pompe utilisée dans le dispositif de mesure de la fumée et en la faisant fonctionner, afin de vérifier que le débit des fuites dans le système est inférieur à 0,4 L/min, rapporté à la température et à la pression normales;
- b) contrôle de la propreté: isoler de la sonde de prélèvement le dispositif d'échantillonnage des gaz et relier l'extrémité de la tuyauterie d'échantillonnage à une source de gaz zéro. Réchauffer le système afin de le porter à la température d'utilisation nécessaire pour les mesures d'hydrocarbures. Actionner la pompe de prélèvement et régler le débit au niveau employé pendant les essais sur les émissions du moteur. Enregistrer la lecture de l'analyseur d'hydrocarbures. Elle ne dépassera pas 1 % du niveau d'émission moteur à l'arrêt ou 1 ppm si cette valeur est supérieure (dans les deux cas en équivalent méthane).
- **Note 1.-** Il est bon de purger la tuyauterie pendant que le moteur fonctionne et que la sonde de prélèvement se trouve dans les gaz d'échappement, mais sans que les émissions soient mesurées, pour qu'il ne se produise aucune contamination appréciable.
- **Note 2.-** Il est bon aussi de surveiller la qualité de l'air introduit, et cela au début et à la fin de l'essai ainsi qu'au moins une fois par heure pendant un essai. Si les niveaux sont jugés importants, il convient d'en tenir compte.
 - 6.4.2 La méthode à adopter pour l'exécution des mesures comprendra les opérations suivantes:
 - a) Introduire le gaz zéro approprié et effectuer les réglages nécessaires de l'instrument :
 - b) Introduire le gaz d'étalonnage approprié à une concentration nominale correspondant à 90% de la déviation maximale pour les plages à utiliser et effectuer les réglages correspondants et les consigner.
 - c) Lorsque le moteur a été stabilisé au régime de fonctionnement et à l'emplacement de prélèvement voulus, le laisser tourner et relever les concentrations de polluants jusqu'à ce qu'on obtienne une lecture stabilisée qui sera alors notée. Répéter la même procédure de mesure pour chacun des autres emplacements de prélèvement, avec le même régime de fonctionnement du moteur.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 90 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

d) Vérifier à nouveau le zéro et l'étalonnage à la fin de l'essai ainsi qu'à des intervalles n'excédant pas 1 heure au cours des essais. Si le zéro et les points d'étalonnage ont varié de plus de ±2 % de la déviation maximale, l'essai doit être repris après avoir ramené l'instrument dans les limites spécifiées.

7. CALCULS

7.1 ÉMISSIONS GAZEUSES

7.1.1 Généralités

Les mesures d'analyse effectuées porteront sur les concentrations des différentes catégories de polluants, aux régimes indiqués de postcombustion du moteur et aux divers points dans le plan de prélèvement. On consignera ces paramètres de base, et on calculera et consignera également les autres paramètres, comme il est indiqué ci-après.

7.1.2 Analyse et validation des mesures

a) La moyenne des concentrations mesurées pour chaque régime du moteur en différents points de prélèvement doit être calculée comme suit :

$$C_{i \text{ moy}} = \sum_{j=1}^{n} C_{i j}$$

où

 $\sum_{i=1}^{n}$ somme du nombre total *n* de points de prélèvements utilisés ;

C_{ij} concentrations de l'élément i mesurées au point de prélèvement j;

C_{i mov} concentration moyenne de l'élément i.

Toutes les mesures de concentration à l'état sec doivent être converties en concentrations réelles à l'état humide (voir Supplément E au présent appendice).

b) La qualité des mesures pour chaque polluant sera déterminée au moyen d'une comparaison avec les mesures de CO2 en utilisant le coefficient de corrélation suivant .

$$r_{i} = \frac{n \sum_{j=1}^{n} \mathbf{C}_{ij} \mathbf{CO}_{2j} - \sum_{j=1}^{n} \mathbf{C}_{ij} \sum_{j=1}^{n} \mathbf{CO}_{2j}}{\sqrt{\left[\left\{n \sum_{j=1}^{n} (\mathbf{CO}_{2j})^{2} - \left(\sum_{j=1}^{n} \mathbf{CO}_{2j}\right)^{2}\right\} \left\{n \sum_{j=1}^{n} \mathbf{C}_{ij^{2}} - \left(\sum_{j=1}^{n} \mathbf{C}_{ij}\right)^{2}\right\}\right]}}$$



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 91 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Les valeurs de r_i qui sont voisines de 1 indiquent que les mesures prises pendant la période* de prélèvement toute entière sont suffisamment stables et que les courbes sont gaussiennes. Si r_i est inférieur à 0,95, de nouvelles mesures doivent être faites dans un plan de prélèvement situé à une plus grande distance du moteur. Le processus de mesure proprement dit est ensuite suivi des mêmes calculs et de la même démonstration que précédemment.

7.1.3 Paramètres fondamentaux

Pour les mesures correspondant à chaque régime de fonctionnement du moteur, la concentration moyenne de chaque élément gazeux est calculée comme il est indiqué au § 7.1.2 les corrections nécessaires pour les mesures faites sur échantillon à l'état sec et/ou pour interférence ont été faites comme il est indiqué au Supplément E au présent appendice. Ces concentrations moyennes sont utilisées pour calculer les paramètres fondamentaux ci-après :

$$\text{IE}_p \text{ (indice d'émission } = \underbrace{\text{masse de } p \text{ produite en g}}_{\text{masse de carburant utilisée en kg}}$$

$$IE(CO) = \left(\frac{[CO]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}\right) \left(\frac{10^3 M_{CO}}{M_C + (n/m)M_H}\right) (1 + T(P_0/m))$$

$$IE(HC) = \left(\frac{[HC]}{[CO_2] + [CO] + [HC]}\right) \left(\frac{10^3 M_{HC}}{M_C + (n/m)M_H}\right) (1 + T(P_0/m))$$

$$\frac{\text{IE(NOx)}}{(\text{en NO}_2)} = \frac{[\text{NOx}]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]} = \frac{10^3 M_{\text{NO}_2}}{M_C (n/m) M_{\text{H}}} (1 + T(P_0/m))$$

Rapport air/carburant =
$$(P_0/m) \left(\frac{M_{AIR}}{M_C + (n/m)M_H} \right)$$

οù

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])}$$

et

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x])[\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 92 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

Mair masse moléculaire de l'air sec = 28,966 g ou, s'il y a lieu, = (32R+28,1564

S+44,011T)g

Mco masse moléculaire du CO = 28,011 g

MHC masse moléculaire de l'hydrocarbure dans les gaz d'échappement,

considérée comme étant du méthane CH₄ = 16,043 g

 M_{NO_2} masse moléculaire du $NO_2 = 46,008$ g M_C masse atomique du carbone = 12,011 g M_H masse atomique de l'hydrogène = 1,008 g

R concentration de l'oxygène dans l'air sec en volume = 0,209 5 normalement

S concentration de l'azote et des gaz rares dans l'air sec en volume = 0,790 2

normalement

T concentration de CO₂ dans l'air sec en volume = 0,000 3 normalement

[HC] concentration moyenne des hydrocarbures des gaz d'échappement en

volume, à l'état humide, exprimée en carbone

[CO] concentration moyenne de CO en volume à l'état humide concentration moyenne de CO₂ en volume à l'état humide

[NO] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement, en

volume, à l'état humide

[NO₂] concentration moyenne de NO₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement,

en volume, à l'état humide

$$=\frac{([NOx]_c - [NO])}{\eta}$$

[NOx]	concentration moyenne de NO _x en volume à l'état humide = [NO + NO ₂]
[NOx]c	concentration moyenne dans l'échantillon après passage dans le
	convertisseur de NO ₂ en NO, en volume, à l'état humide
η	efficacité du convertisseur de NO2 en NO
h _{vol}	humidité de l'air ambiant en volume d'eau/volume d'air sec
m	nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant
n	nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique du
	carburant
X	nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique des
	hydrocarbures des gaz d'échappement
у	nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique des
	hydrocarbures des gaz d'échappement

La valeur de n/m, rapport du nombre d'atomes de carbone au nombre d'atomes d'hydrogène du carburant utilisé, est évaluée au moyen d'une analyse du type de carburant. L'humidité de l'air ambiant h sera mesurée pour chaque condition d'essai. En l'absence de preuve du contraire en ce qui concerne la caractérisation (x, y) des hydrocarbures des gaz d'échappement, on utilisera les valeurs x = 1, et y = 4. Si l'on doit utiliser des mesures de CO et de CO_2 à l'état sec ou semi humide, celles-ci seront d'abord converties en concentration équivalente à l'état humide comme il est indiqué au Supplément E au présent appendice qui contient également des formules de correction des interférences à utiliser en cas de besoin.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 93 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Note.— Les procédures indiquées aux § 7.1.4 et 7.2 sont applicables aux essais lorsque la postcombustion n'est pas utilisée. Pour les essais avec postcombustion, on peut employer ces procédures, sous réserve de l'accord du service de certification.

7.1.4 Correction des indices d'émission pour les ramener aux conditions de référence.

Des corrections des indices d'émission mesurés seront effectuées pour tous les polluants à tous les régimes applicables de fonctionnement du moteur pour les écarts entre la température et la pression réelles de l'air à l'admission et les conditions de référence (ISA au niveau de la mer). La valeur de référence pour l'humidité sera 0,00634 kg d'eau/kg d'air sec.

Ainsi IE corrigé = K x IE mesuré

où K représente l'expression généralisée suivante:

$$K = (P_{Bréf} / P_B)^a X (FAR_{réf} / FAR_B)^b X exp(|T_{Bréf} - T_B|/c) x exp(|d[h_{vol} - 0,00634])$$

- P_B Pression mesurée à l'entrée de la chambre de combustion.
- T_B Température mesurée à l'entrée de la chambre de combustion.
- FAR_B Rapport carburant / air dans la chambre de combustion.
- H_{vol} Humidité de l'air ambiant, en volume d'eau / volume d'air sec.
- Préf Pression ISA au niveau de la mer.
- Tréf Température ISA au niveau de la mer.
- P_{Bréf} Pression à l'entrée dans la chambre de combustion du moteur essayé (ou du moteur de référence si la donnée est corrigée pour la ramener à un moteur de référence) associée à TB dans les conditions ISA au niveau de la mer.
- T_{Bréf} Température à l'entrée de la chambre de combustion dans des conditions ISA au niveau de la mer pour le moteur essayé (ou le moteur de référence si la donnée doit être corrigée pour la ramener à un moteur de référence). Cette température est la température associée à chaque niveau de poussée spécifié pour chaque régime.
- FAR_{réf} Rapport carburant /air dans la chambre de combustion dans des conditions ISA au niveau de la mer pour le moteur essayé (ou le moteur de référence si la donnée doit être corrigée pour la ramener à un moteur de référence).
- a, b, c, d Constantes spécifiques qui peuvent varier pour chaque polluant et chaque type de moteur.

Les paramètres à l'entrée de la chambre de combustion seront de préférence mesurés, mais ils pourront être calculés à partir des conditions ambiantes au moyen de formules appropriées.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 94 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

7.1.5 L'utilisation de la technique recommandée d'adaptation à la courbe pour rapporter les indices d'émission à la température l'entrée de la chambre de combustion élimine effectivement le terme exp ([TBréf -TB]/c) de l'équation généralisée et, dans la plupart des cas, le terme (FARréf/FARB) peut être considéré comme égal à 1. Pour les indices d'émissions de CO et de HC, de nombreux établissements d'essais ont établi que le terme représentant l'humidité est suffisamment proche de l'unité pour qu'on puisse l'éliminer de l'expression et que l'exposant du terme (PBréf / PB) est proche de l'unité.

Ainsi

IE(CO) corrigé = IE calculé à partir de la courbe de $(P_B / P_{Br\'ef})$. IE(CO) en fonction de T_B ;

IE (HC) corrigé = IE calculé à partir de la courbe de ($P_B/P_{Bréf}$) IE(HC) en fonction de T_B ;

IE (NOx) corrigé = IE calculé à partir de la courbe de IE(NOx) $(P_{Bréf}/P_B)^{0.5 \text{ exp}} (19|h_{vol} - 0.00634|)$ en fonction de T_B .

Si cette méthode recommandée pour la correction de l'indice d'émissions de CO et de HC ne donne pas une corrélation satisfaisante, on pourra employer une méthode de rechange utilisant des paramètres tirés des essais sur les composants.

Toute autre méthode utilisée pour corriger les indices d'émission de CO, HC et NOx, sera approuvée par l'Autorité de l'aviation civile.

7.2 PARAMÈTRES DE CONTRÔLE (D_P , F_{00} et π)

7.2.1 **Définitions**

- D_p Masse de tout polluant gazeux émis au cours d'un cycle d'émission de référence à l'atterrissage et au décollage.
- Foo Poussée maximale disponible pour le décollage en exploitation normale dans les conditions statiques en atmosphère type internationale au niveau de la mer, sans injection d'eau, approuvée par le service de certification compétent.
- Rapport entre la pression totale moyenne à la sortie du dernier étage du compresseur et la pression totale moyenne à l'entrée du compresseur lorsque la poussée du moteur est égale à la poussée nominale du décollage dans les conditions statiques en atmosphère type internationale (ISA) au niveau de la mer.
 - 7.2.2 Les indices d'émission (IE) pour chaque polluant, corrigés pour la pression et l'humidité (s'il y a lieu) pour les ramener aux conditions de l'atmosphère ambiante



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 95 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

de référence comme il est indiqué au § 7.1.4 et, si cela est nécessaire, au moteur de référence, seront déterminés pour les régimes n nécessaires de ralenti, d'approche, de montée et d'atterrissage du cycle d'atterrissage et de décollage CAD pour chacune des conditions de poussée corrigée équivalentes. Un minimum de trois points d'essai sera nécessaire pour définir le régime de ralenti. Les relations suivantes seront déterminées pour chaque polluant :

- a) entre IE et TB;
- b) entre W_f (débit massique de carburant) et T_B;
- c) entre F_n (corrigé pour le ramener aux conditions ISA au niveau de la mer) et T_B (corrigé pour le ramener aux conditions ISA au niveau de la mer) ;

Note.- Ces relations sont illustrées par exemple sur la Figure A5-3 a), b) et c).

Si un moteur soumis aux essais n'est pas un moteur «de référence», les données peuvent être corrigées pour les ramener aux conditions du moteur de référence en utilisant les relations b) et c) obtenues à partir d'un moteur de référence. Un moteur de référence est défini comme étant un moteur ayant une configuration sensiblement identique à celle du moteur certifié et accepté par l'Autorité de l'aviation civile comme étant représentatif du type de moteur pour lequel la certification est demandée.

Le constructeur fournira également à l'Autorité Nationale de l'Aviation Civile toutes les données nécessaires sur les performances du moteur à l'appui de ces relations et, pour les conditions ambiantes de l'atmosphère type internationale au niveau de la mer :

- d) la poussée nominale maximale (Foo);
- e) le rapport de pression du moteur (π) à la poussée nominale maximale.

Note. — Ces données sont illustrées sur la Figure A5-3 d).

- 7.2.3 L'évaluation de IE pour chaque polluant à chacun des régimes moteur nécessaires, ramenée aux conditions ambiantes de référence, sera conforme à la méthode générale suivante :
 - a) pour la valeur F_n de la poussée en atmosphère type internationale à chaque régime, déterminer la température équivalente à l'entrée du foyer T_B [Figure A5-3 c)];
 - b) à partir de la caractéristique IE/T_B [Figure A5-3 a)], déterminer la valeur IE_n correspondant à T_B ;
 - c) à partir de la caractéristique W_f / T_B [Figure A5-3 b)], déterminer la valeur W_{fn} correspondant à T_B .



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

Date: **0**1/04/2020

96 de 185

00

Page:

Révision:

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

d) noter les valeurs maximales de la poussée nominale et du rapport de pression en atmosphère type internationale. Ces valeurs sont respectivement F_{00} et [Figure A5-3 d)];

- e) calculer pour chaque polluant $D_p = \Sigma (IE_n) (W_{fn})(t)$ où
 - t temps au régime CAD (en minutes).
 - Wfn débit massique de carburant (en kilogrammes/minute).
 - Σ est la somme pour l'ensemble des régimes du cycle CAD de référence.

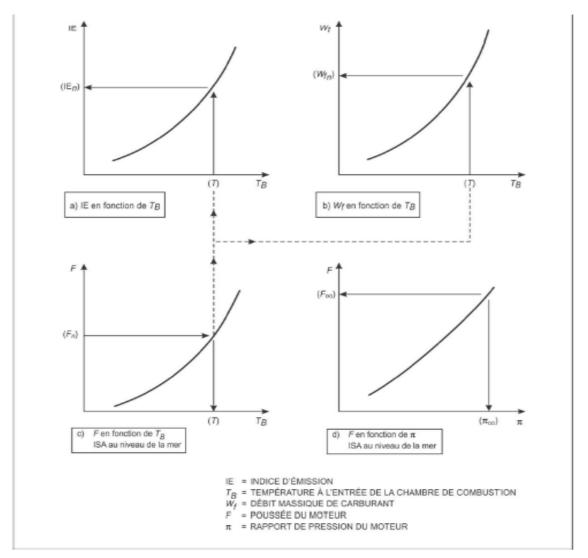


Figure A5-3. Méthode de calcul

7.2.4 Bien que la méthode décrite ci-dessus soit la méthode recommandée, l'Autorité de l'aviation civile peut accepter une méthode mathématique équivalente qui utilise des expressions mathématiques représentant les courbes illustrées si ces expressions ont été établies en utilisant une technique agréée d'adaptation aux courbes.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 97 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

7.3 DÉROGATIONS À LA MÉTHODE PROPOSÉE.

Dans les cas où la configuration du moteur ou toute autre condition empêcherait d'utiliser cette méthode, l'Autorité de l'aviation civile, après avoir reçu la preuve technique satisfaisante de l'équivalence des résultats obtenus par une autre méthode, peut approuver cette autre méthode.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 98 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT A À L'APPENDICE 5 SPÉCIFICATION DE L'ANALYSEUR D'HYDROCARBURES

Note 1.- Comme il est indiqué au § 5.2 de l'Appendice 5, l'élément de mesure de cet analyseur est le détecteur à ionisation de flamme dans lequel l'échantillon ou une partie représentative de celui-ci est envoyé dans une flamme d'hydrogène. Au moyen d'électrodes convenablement disposées, un courant d'ionisation, qui est fonction du débit massique d'hydrocarbures à travers la flamme, peut être établi. C'est ce courant qui, rapporté à un zéro approprié, est amplifié pour donner une indication qui représente la concentration des hydrocarbures exprimés en ppmC équivalente.

Note 2.- Voir le Supplément D pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

1. GÉNÉRALITÉS

Précautions : Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises.

L'instrument utilisé sera tel que la température du détecteur et des éléments d'acheminement des composants soit maintenue à une valeur située entre 155°C et 165°C avec une stabilité de ±2°C. Les éléments principaux de la spécification seront les suivants, la réaction du détecteur étant optimale et l'instrument étant généralement stabilisé :

- a) Gamme complète de valeurs: 0 à 500 ppmC subdivisée en plages appropriées.
- b) **Pouvoir séparateur:** supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 0,5 ppmC.
- c) **Reproductibilité**: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±0,5 ppmC.
- d) **Stabilité:** supérieure à la plus grande des valeurs suivantes : ±2 % de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppmC sur une période d'une heure.
- e) **Dérive du zéro:** inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±0,5 ppmC sur une période d'une heure.
- f) **Bruit de fond:** 0,5 Hz et plus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±0,5 ppmC;



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 99 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

- g) **Temps de réponse**: ne dépassera pas 10 secondes depuis l'entrée de l'échantillondans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90 % de la lecture finale.
- h) **Linéarité:** la réaction avec un mélange de propane et d'air doit être linéaire pour chaque plage dans les limites de ±2 % de la déviation maximale, sinon des corrections d'étalonnage doivent être utilisées.

2. EFFETS SECONDAIRES

Note.- Dans l'application de cette méthode, deux phénomènes peuvent influer sur la précision de la mesure:

- a) l'effet de l'oxygène (en raison duquel des proportions différentes d'oxygène dans l'échantillon donnent des concentrations indiquées d'hydrocarbures différentes pour une même concentration réelle d'hydrocarbures);
- b) la réponse relative aux hydrocarbures (réponse différente à une même concentration d'hydrocarbures dans l'échantillon exprimée en ppmC équivalente, selon la nature ou le mélange des hydrocarbures).

L'ampleur des effets notés ci-dessus sera déterminée comme suit et limitée en conséquence.

Réponse à l'oxygène : Mesurer la réponse avec deux mélanges de propane à une concentration d'environ 500 ppmC, connue avec une précision relative de ±1 % :

- 1) propane dans un mélange d'oxygène et d'azote contenant 10 ± 1 % d'oxygène ;
- 2) propane dans un mélange d'oxygène et d'azote contenant 21 ± 1 % d'oxygène.

Si on appelle R_1 et R_2 les réponses respectives normalisées, $(R_1 - R_2)$ doit être inférieure à 3 % de R_1 .

Réponse différentielle aux hydrocarbures : Mesurer la réponse avec les quatre mélanges d'hydrocarbures différents ci-dessous dans l'air, à des concentrations d'environ 500 ppmC, connues avec une précision relative de ±1 %:

- a) propane dans l'air zéro;
- b) propylène dans l'air zéro;
- c) toluène dans l'air zéro;
- d) n-hexane dans l'air zéro

Si R_a , R_b , R_c et R_d sont respectivement les réponses normalisées (par rapport au propane), $(R_a - R_b)$, $(R_a - R_c)$ et $(R_a - R_d)$ doivent être inférieures à 5 % de R_a .



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 100 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

3. OBTENTION DE LA RÉPONSE OPTIMALE DU DÉTECTEUR ET RÉGLAGE

- 3.1 Il y a lieu de respecter les instructions du constructeur en ce qui concerne la méthode de réglage initial ainsi que les services et le matériel auxiliaires nécessaires et de laisser l'instrument se stabiliser. Tous les réglages doivent comprendre des vérifications répétées du zéro et sa correction s'il y a lieu. En utilisant comme échantillon un mélange d'environ 500 ppmC de propane dans l'air, on déterminera d'abord la caractéristique de réaction à des variations dans le débit de carburant puis, au voisinage du débit optimal de carburant, à des variations de débit de l'air de dilution afin de choisir sa valeur optimale. On évaluera ensuite la réponse à l'oxygène et la réponse différentielle aux hydrocarbures comme il est indiqué ci-dessus.
- 3.2La linéarité de chaque plage de l'analyseur doit être vérifiée au moyen d'échantillons de propane dans l'air à des concentrations correspondant approximativement à 30%, 60% et 90% de la déviation maximale. L'écart maximal de la réponse en chacun de ces points par rapport à la droite des moindres carrés (entre ces points et le zéro) ne doit pas dépasser ±2% de la déviation maximale. Si l'écart est supérieur à cette valeur, une courbe d'étalonnage sera établie pour l'utilisation opérationnelle de l'analyseur.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 101 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT B À L'APPENDICE 5 SPÉCIFICATION DES ANALYSEURS DE CO ET DE CO₂

Note 1.- Au § 5.3 de l'Appendice 5 sont résumées les caractéristiques du dispositif d'analyse à employer pour la mesure des concentrations de CO et CO₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement. Les instruments sont fondés sur le principe de l'absorption non dispersive d'un rayonnement infrarouge comparée entre un échantillon de référence et l'échantillon de gaz à analyser. Les plages nécessaires de sensibilité sont obtenues en utilisant un empilage d'éléments d'analyse ou une modification des circuits électroniques ou les deux à la fois. Les interférences produites par des gaz présentant des bandes d'absorption qui chevauchent celles de l'échantillon peuvent être réduites au minimum en utilisant des filtres d'absorption de ces gaz et/ou, de préférence, des filtres optiques.

Note 2.- Voir le Supplément D pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

Précautions : Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises.

Les principales spécifications de fonctionnement seront les suivantes:

Analyseur de CO

- a) Gamme complète de valeurs : 0 à 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées.
- b) **Pouvoir séparateur :** supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5% de la déviation maximale utilisée ou 1 ppm.
- c) **Reproductibilité**: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1% de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm.
- d) **Stabilité**: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±2% de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm sur une période d'une heure.
- e) **Dérive du zéro** : inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1% de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm sur une période d'une heure.
- f) **Bruit de fond :** 0,5 Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppm.
- g) Interférences : doivent être limitées par rapport à la concentration de CO indiquée de

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 102 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

la façon suivante :

- 1) moins de 500 ppm pour une concentration d'éthylène de 1%;
- 2) moins de 2 ppm pour une concentration de CO2 de 1 %;
- 3) moins de 2 ppm pour une concentration de vapeur d'eau de 1 %.4

Si les limites relatives aux interférences pour le CO₂ et/ou la vapeur d'eau ne peuvent pas être respectées, les facteurs de correction appropriés doivent être déterminés, signalés et appliqués.

Note.- Ces procédures de correction doivent être adoptées dans tous les cas.

Analyseur de CO₂

- a) Gamme complète de valeurs : 0 à 10 % subdivisée en plages appropriées.
- b) Pouvoir séparateur : supérieur à la plus grande des valeurs suivantes : 0,5 % de la déviation maximale utilisée ou 100 ppm.
- c) Reproductibilité: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm.
- d) Stabilité : supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ± 2 % de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm sur une période d'une heure.
- e) **Dérive du zéro :** inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm sur une période d'une heure.
- f) **Bruit de fond :** 0,5 Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes: ±1 % de la déviation maximale utilisée ou ±100 ppm.
- g) L'effet de l'oxygène (O₂) sur la réponse de l'analyseur de CO₂ sera vérifié. Si la teneur en O₂ passe de 0% O₂ à 21% O₂, la réponse d'une concentration donnée de CO₂ ne doit pas varier de plus de 2% de la lecture. Si cette limite ne peut être respectée, un coefficient de correction approprié sera appliqué.
 - **Note.-** Ces procédures de correction doivent être adoptées dans tous les cas.

Analyseurs de CO et de CO₂

a) **Temps de réponse** : ce temps ne doit pas dépasser 10 secondes depuis le moment où l'échantillon arrive dans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90 % de la lecture finale.

⁴ Inuti<u>le si les mesures sont effectuées à l'état sec</u>



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 103 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

b) Température de l'échantillon : normalement, on procède à l'analyse de l'échantillon dans son état «humide» (non traité), ce qui exige que l'élément d'analyse de l'échantillon et tous les autres éléments en contact avec l'échantillon soient maintenus à une température égale ou supérieure à 50°C avec une stabilité de ±2°C. Il est admis de procéder à la mesure du CO et du CO₂ sur un échantillon sec (avec des moyens appropriés de dessiccation); dans ce cas on peut utiliser des analyseurs non chauffés et supprimer les limites d'interférence pour la vapeur d'eau, une correction ultérieure pour la vapeur d'eau à l'entrée et la vapeur d'eau de combustion étant nécessaire.

c) Courbes d'étalonnage :

- 1) On vérifiera les analyseurs à caractéristique linéaire de sortie du signal dans toutes les plages de fonctionnement en utilisant des gaz d'étalonnage à des concentrations connues, correspondant approximativement à 0%, 30%, 60% et 90% de la déviation maximale. La déviation à la réponse maximale de n'importe lequel de ces points par rapport à une droite des moindres carrés, ajustée sur ces points et la lecture zéro, ne doit pas dépasser ±2% de la déviation maximale. Si elle est supérieure à cette valeur, une courbe d'étalonnage sera établie pour l'utilisation opérationnelle.
- 2) Pour les analyseurs à caractéristique non linéaire de sortie du signal et ceux qui ne remplissent pas les conditions de linéarité données ci-dessus, on établira des courbes d'étalonnage pour toutes les plages de fonctionnement, en utilisant des gaz d'étalonnage à des concentrations connues correspondant approximativement à 0%, 30%, 60% et 90% de la déviation maximale. Des mélanges supplémentaires seront employés au besoin pour bien définir la forme de la courbe.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 104 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT C À L'APPENDICE 5 SPÉCIFICATION DE L'ANALYSEUR D'OXYDES D'AZOTE

Note.- Voir le Supplément D pour des informations sur les gaz d'étalonnage et d'essai.

- 1. Comme il est indiqué au § 5.4 de l'Appendice 5, la mesure de la concentration des oxydes d'azote sera effectuée au moyen d'une technique de chimiluminescence dans laquelle le rayonnement émis par la réaction du NO sur O₃ est mesuré. Cette méthode n'est pas applicable au NO₂ et, en conséquence, l'échantillon doit passer à travers un convertisseur qui transforme le NO₂ en NO avant de procéder à la mesure de l'ensemble des oxydes d'azote. Il faudra consigner à la fois la concentration de NO originale et la concentration totale de NO_x. On obtiendra ensuite la concentration de NO₂ par différence.
- 2. L'instrument utilisé doit être complet avec tous les éléments nécessaires de contrôle du débit, tels que régulateurs, robinets, débitmètres, etc. Les matériaux en contact avec l'échantillon de gaz seront des matériaux inattaquables par les oxydes d'azote, tels que de l'acier inoxydable, du verre, etc. La température de l'échantillon sera maintenue partout à des valeurs compatibles avec les pressions locales qui empêchent la condensation de l'eau.

Précautions : Les spécifications de performances indiquées s'entendent généralement pour la déviation maximale de l'analyseur. Des erreurs commises sur une déviation partielle peuvent représenter un pourcentage sensiblement plus élevé de la lecture. La pertinence et l'importance de ces augmentations seront prises en considération lorsqu'on se prépare à effectuer les mesures. Si de meilleures performances sont nécessaires, les précautions qui s'imposent seront prises.

- 3. Les principales spécifications de fonctionnement, déterminées pour un instrument utilisé dans une température ambiante stable à ±2°C près, seront les suivantes :
 - a) Gamme complète de valeurs : 0 à 2 500 ppm subdivisée en plages appropriées.
 - b) **Pouvoir séparateur :** supérieur à la plus grande des valeurs suivantes: 0,5% de la déviation maximale utilisée ou 1 ppm.
 - c) **Reproductibilité**: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1% de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppm.
 - d) **Stabilité**: supérieure à la plus grande des valeurs suivantes:2% de la déviation maximale utilisée ou ±1 ppm sur une période d'une heure.
 - e) **Dérive du zéro :** inférieure à la plus grande des valeurs suivantes: ±1% de la déviation maximale utilisée ou 1 ppm sur une période d'une heure.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 105 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

- f) **Bruit de fond**: 0,5 Hz et au-dessus, inférieur à la plus grande des valeurs suivantes ±1% de la déviation maximale utilisée ou ±1ppm sur une période de deux heures.
- g) **Interférences**: doivent être maintenues, pour des échantillons contenant du CO₂ et de la vapeur d'eau, dans les limites suivantes:
 - moins de 0,05% de la lecture pour une concentration de C0₂ de 1%;
 - moins de 0,1% de la lecture pour une concentration de vapeur d'eau de 1%.

Si les limites relatives aux interférences pour le CO₂ et/ou la vapeur d'eau ne peuvent pas être respectées, les facteurs de correction appropriés doivent être déterminés, signalés et appliqués.

Note.- Ces procédures de correction doivent être adoptées dans tous les cas.

- h) Temps de réponse : ne doit pas dépasser 10 secondes depuis l'entrée de l'échantillon dans le dispositif d'analyse jusqu'à l'obtention de 90% de la lecture finale.
- i) Linéarité : supérieure à la plus grande des deux valeurs suivantes: ±2% de la déviation maximale utilisée ou ±2 ppm.
- j) Convertisseur : le convertisseur sera conçu et utilisé de façon à convertir le NO₂ présent dans l'échantillon en NO. Le convertisseur ne modifiera pas le NO qui se trouvait à l'origine dans l'échantillon.

L'efficacité du convertisseur ne sera pas inférieure à 90%.

Cette valeur de l'efficacité sera utilisée pour corriger la valeur mesurée du NO₂ de l'échantillon (c'est-à-dire [NO_x]c - [NO]) pour la ramener à celle qui aurait été obtenue si l'efficacité avait été de 100%.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 106 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT D À L'APPENDICE 5 GAZ D'ÉTALONNAGE ET D'ESSAI

Tableau des gaz d'étalonnage

Analyseur	Gaz	Précision*
HC	propane dans l'air zéro	±2 % ou ±0,05 ppm**
CO_2	CO2 dans l'air zéro	±2 % ou ±100 ppm**
co	CO dans l'air zéro	±2 % ou ±2 ppm**
NOx	NOx dans l'azote zéro	±2 % ou ±1 ppm**
	ervalle de confiance de 95 %. des deux valeurs.	

Les gaz ci-dessus sont requis pour effectuer l'étalonnage de routine des analyseurs durant l'utilisation opérationnelle normale.

Tableau des gaz d'essai

Analyseur	Gaz	Précision*
HC	propane dans un mélange d'oxygène et d'azote zéro contenant 10 % ±1 % d'oxygène	±1 %
HC	propane dans un mélange d'oxygène et d'azote zéro contenant 21 % ±1 % d'oxygène	±1 %
HC	propylène dans l'air zéro	±1 %
HC	toluène dans l'air zéro	±1 %
HC	n-hexane dans l'air zéro	±1 %
HC	propane dans l'air zéro	±1 %
CO ₂	CO2 dans l'air zéro	±1 %
CO ₂	CO ₂ dans l'azote zéro	±1 %
CO	CO dans l'air zéro	±1 %
NOx	NO dans l'azote zéro	±1 %
Prise dans l'inter	valle de confiance de 95 %.	

Les gaz ci-dessus sont requis pour effectuer les essais mentionnés dans les Suppléments A, B et C.

Dans les gaz d'étalonnage des analyseurs de CO et CO₂, ces derniers peuvent être mélangés séparément ou ensemble. Des mélanges ternaires de CO, CO₂ et propane dans l'air zéro peuvent être utilisés à condition que la stabilité du mélange soit assurée.

Le gaz zéro spécifié pour l'analyseur de CO, CO2 et d'hydrocarbures sera l'air zéro (qui



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 107 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

comprend l'air «artificiel» composé de 20% à 22% d'oxygène mélangé à de l'azote). Pour l'analyseur de NOx, l'azote zéro sera utilisé comme gaz zéro. Les impuretés dans les deux sortes de gaz zéro doivent être inférieures aux concentrations ci-dessous:

- 1 ppm de carbone
- 1 ppm de CO
- 100 ppm de CO₂
- 1 ppm de NOx

Le postulant veillera à ce que les gaz qui lui sont fournis commercialement répondent bien à cette spécification, ou sont garantis conformes par le vendeur.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 108 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT E À L'APPENDICE 5

CALCUL DES PARAMÈTRES D'ÉMISSION - BASE, CORRECTION DES MESURES ET MÉTHODE NUMÉRIQUE DE RECHANGE.

1. SYMBOLES

RAC	rapport air/carburant: rapport entre le débit massique d'air sec et le débit
	massique de carburant
IE	indice d'émission: débit massique des produits gazeux d'émission dans les gaz d'échappement correspondant au débit massique unitaire de carburant x 10 ³
K	rapport entre les concentrations mesurées à l'état humide et à l'état sec (après condensation)
L, L'	coefficient d'interférence de l'analyseur pour interférence par C0 ₂
∟, ∟ M, M'	coefficient d'interférence de l'analyseur pour interférence par H ₂ O
Mair	masse moléculaire de l'air sec = 28,966 g ou, s'il y a lieu, = (32R+28,1564
IVIAIR	
N/I	S+44,011T)g
Мсо	masse moléculaire du CO = 28,011 g
Мнс	masse moléculaire de l'hydrocarbure dans les gaz d'échappement, considérée comme étant du méthane = 16,043 g
M _{NO2}	masse moléculaire du NO ₂ = 46,008 g
Mc	masse atomique du carbone = 12,011 g
Мн	masse atomique de l'hydrogène = 1,008 g
P ₁	nombre de moles de C0 ₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant.
P ₂	nombre de moles de N2 dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de
	carburant
P ₃	nombre de moles de 0 ₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant
P ₄	nombre de moles de H ₂ O dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole
_	de carburant
P ₅	nombre de moles de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant
P ₆	nombre de moles de C _x H _y dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole
	de carburant
P ₇	nombre de moles de NO ₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de carburant
P ₈	nombre de moles de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement par mole de

carburant



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 109 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Рт	$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8$
R	concentration de l'oxygène dans l'air sec en volume = 0,2095 normalement
S	concentration de l'azote et des gaz rares dans l'air sec en volume = 0,7902
	normalement
Т	concentration de CO ₂ dans l'air sec en volume = 0,0003 normalement
P ₀	nombre de moles d'air par mole de carburant dans le mélange initial
- •	air/carburant
Z	symbole utilisé et défini au § 3.4
[CO ₂]	concentration moyenne de CO ₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement, en
[002]	volume, à l'état humide
[00]	·
[CO]	concentration moyenne de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide
ruc1	·
[HC]	concentration moyenne d'hydrocarbures des gaz d'échappement, en volume,
ruo1	à l'état humide, exprimée en carbone
[NO]	concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement, en
DIO 1	volume, à l'état humide
[NO ₂]	concentration moyenne de NO2 dans l'échantillon de gaz d'échappement, en
	volume, à l'état humide
	,
	$=\frac{([NOx]_c - [NO])}{\eta}$
[NOx]	$=\frac{([NOx]_c - [NO])}{\eta}$
[NOx]	
	$=\frac{([\text{NOx}]_c-[\text{NO}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO $_2$ dans l'échantillon de gaz d'échappement,
[NOx]c	$=\frac{([\text{NOx}]_c-[\text{NO}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO $_2$ dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO $_2$] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après
[NOx]c	$=\frac{([\text{Nox}]_c-[\text{No}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO $_2$ dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO $_2$] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO $_2$ en NO, en volume, à l'état humide
	$=\frac{([\text{NOx}]_c-[\text{NO}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO ₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO ₂] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO ₂ en NO, en volume, à l'état humide concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après
[NOx]c	$=\frac{([\text{NOx}]_c-[\text{NO}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO ₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO ₂] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO ₂ en NO, en volume, à l'état humide concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume
[NOx]c	$=\frac{([\text{NOx}]_c-[\text{NO}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO ₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO ₂] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO ₂ en NO, en volume, à l'état humide concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après
[NOx]c []d []m	$=\frac{([\text{Nox}]_c-[\text{No}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO2 dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = $[\text{NO} + \text{NO}_2]$ concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO2 en NO, en volume, à l'état humide concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume mesure de la concentration indiquée par l'instrument avant correction, en volume
[NOx]c []d []m hvol	$=\frac{([\text{Nox}]_c-[\text{No}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO2 dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO2] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO2 en NO, en volume, à l'état humide concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume mesure de la concentration indiquée par l'instrument avant correction, en volume humidité de l'air ambiant, en volume d'eau par volume d'air sec
[NOx]c []d []m	$=\frac{(\text{[Nox]}_c-\text{[No]})}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO $_2$ dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO $_2$] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO $_2$ en NO, en volume, à l'état humide concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume mesure de la concentration indiquée par l'instrument avant correction, en volume humidité de l'air ambiant, en volume d'eau par volume d'air sec humidité de l'échantillon de gaz d'échappement après dessiccation ou
[NOx]c []d []m hvol hd	$=\frac{([\text{Nox}]_c-[\text{No}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO2 dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO2] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO2 en NO, en volume, à l'état humide concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume mesure de la concentration indiquée par l'instrument avant correction, en volume humidité de l'air ambiant, en volume d'eau par volume d'air sec humidité de l'échantillon de gaz d'échappement après dessiccation ou condensation, en volume d'eau par volume d'échantillon sec
[NOx]c []d []m hvol hd m	$=\frac{(\text{[Nox]}_c-\text{[No]})}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO2 dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO2] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO2 en NO, en volume, à l'état humide concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume mesure de la concentration indiquée par l'instrument avant correction, en volume humidité de l'air ambiant, en volume d'eau par volume d'air sec humidité de l'échantillon de gaz d'échappement après dessiccation ou condensation, en volume d'eau par volume d'échantillon sec nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant
[NOx]c []d []m hvol hd m n	$=\frac{([\text{Nox}]_c-[\text{No}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO2 dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO2] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO2 en NO, en volume, à l'état humide concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume mesure de la concentration indiquée par l'instrument avant correction, en volume humidité de l'air ambiant, en volume d'eau par volume d'air sec humidité de l'échantillon de gaz d'échappement après dessiccation ou condensation, en volume d'eau par volume d'échantillon sec nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique du carburant
[NOx]c []d []m hvol hd m	$=\frac{([\text{Nox}]_c-[\text{No}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO2 dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO2] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO2 en NO, en volume, à l'état humide concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume mesure de la concentration indiquée par l'instrument avant correction, en volume humidité de l'air ambiant, en volume d'eau par volume d'air sec humidité de l'échantillon de gaz d'échappement après dessiccation ou condensation, en volume d'eau par volume d'échantillon sec nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique des
[NOx]c []d []m hvol hd m n	$=\frac{([\text{Nox}]_c-[\text{No}])}{\eta}$ concentration moyenne de NO + NO2 dans l'échantillon de gaz d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO + NO2] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement après passage dans le convertisseur de NO2 en NO, en volume, à l'état humide concentration moyenne dans l'échantillon de gaz d'échappement après condensation, en volume mesure de la concentration indiquée par l'instrument avant correction, en volume humidité de l'air ambiant, en volume d'eau par volume d'air sec humidité de l'échantillon de gaz d'échappement après dessiccation ou condensation, en volume d'eau par volume d'échantillon sec nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique du carburant

2. BASE DU CALCUL DES INDICES D'ÉMISSION ET DU RAPPORT AIR/CARBURANT

2.1 On admet que l'équilibre entre le mélange original d'air et de carburant et l'échantillon

hydrocarbures des gaz d'échappement efficacité du convertisseur de NO₂ en NO

η



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 110 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

d'émissions gazeuses d'échappement peut être représenté par l'équation suivante:

$$C_mH_n + P_0 [R(O_2) + S(N_2) + T(CO_2) + h_{vol}(H_2O)] = P_1(CO_2) + P_2(N_2) + P_3(O_2) + P_4(H_2O) + P_5(CO) + P_6(C_xH_y) + P_7(NO_2) + P_8(NO)$$

équation dont on peut, par définition, déduire les paramètres nécessaires :

$$\begin{split} & \text{IE}(\text{CO}) = P_{\text{S}}\left(\frac{10^{3}M_{\text{CO}}}{mM_{\text{C}} + nM_{\text{H}}}\right) \\ & \text{IE}(\text{HC}) = xP_{6}\left(\frac{10^{3}M_{\text{HC}}}{mM_{\text{C}} + nM_{\text{H}}}\right) \text{exprimé en équivalent de méthane} \\ & \text{IE}(\text{NOx}) = (P_{7} + P_{8})\left(\frac{10^{3}M_{\text{NO}_{2}}}{mM_{\text{C}} + nM_{\text{H}}}\right) \text{exprimé en équivalent de NO}_{2} \\ & \text{RAC} = P_{0}\left(\frac{M_{\text{AIR}}}{mM_{\text{C}} + nM_{\text{U}}}\right) \end{split}$$

- 2.2Les valeurs m et n de la composition des hydrocarbures du carburant sont déterminées par les spécifications du carburant ou par analyse. Si seul le rapport n/m est ainsi déterminé, on peut admettre pour m, la valeur de 12. Les fractions moléculaires des constituants de l'air sec (R, S, T) sont en général considérées comme étant les valeurs normalisées recommandées, mais d'autres valeurs peuvent être adoptées sous la réserve que R+ S+T= 1 et que ces valeurs soient approuvées par l'Autorité Nationale de l'Aviation Civile.
- 2.3L'humidité h_{vol} de l'air ambiant est mesurée pour chaque condition d'essai. Il est recommandé qu'à moins de preuve du contraire en ce qui concerne la caractérisation des hydrocarbures des gaz d'échappement, on adopte les valeurs de x = 1 et y = 4.
- 2.4La détermination des autres inconnues exige la solution de la série ci-après d'équations linéaires simultanées, les équations (1) à (4) découlant des relations fondamentales de la conservation de la matière, et les équations (5) à (9) représentant les relations de concentration des produits gazeux :

$$m + TP_0 = P_1 + P_5 + xP_6$$
(1)

$$n + 2hP_0 = 2P_4 + yP_6$$
(2)

$$(2R + 2T + h_{vol}) P_0 = 2P_1 + 2P_3 + P_4 + P_5 + 2P_7 + P_8 \dots (3)$$

$$2SP_0 = 2P_2 + P_7 + P_8$$
(4)

$$[CO_2] P_T = P_1$$
(5)

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 111 de 185 Révision: 00 Date: 01/04/2020

L'ensemble d'équations conditionnelles ci-dessous s'applique aux cas où toutes les concentrations mesurées sont des concentrations vraies, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas soumises à des effets d'interférence ou à des corrections dues à la dessiccation de l'échantillon. En pratique, les interférences sont généralement sensibles dans les mesures de CO, NOx et NO, et la possibilité de mesurer le CO2 et le CO à l'état sec ou semi-humide est souvent utilisée. Les modifications qu'il est nécessaire d'apporter aux équations pertinentes sont indiquées aux § 2.5 et 2.6.

2.5Les effets d'interférence sont surtout dus à la présence de CO2 et de H2O dans l'échantillon, présence qui peut agir fondamentalement, sur les analyseurs de CO et de NOx de différentes façons. Dans le cas de l'analyseur de CO, on observe une tendance à une dérive du zéro, et dans le cas de l'analyseur d'oxydes d'azote, une tendance à une modification de la sensibilité que l'on peut représenter de la façon suivante :

$$[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$$

et

$$[NOx]_c = [NOx]_{cm} (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$$

équation qui transforma les équations (6), (8) et (9) de la manière suivante lorsque les effets d'interférence doivent être corrigés:

$$[CO]_m P_T + LP_1 + MP_4 = P_5$$
(6A)

$$[NOx]_{cm} (P_T + L'P_1 + M'P_4) = \eta P_7 + P_8(8A)$$

$$[NO]_m (P_T + L'P_1 + M'P_4) = P_8$$
(9A)

2.6La possibilité de mesurer les concentrations de CO2 et de CO sur un échantillon sec ou semi-humide, c'est-à-dire avec une humidité réduite hd , exige l'emploi des équations conditionnelles modifiées suivantes:

$$[CO_2]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_1 (5A)$$

et

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 112 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

$$[CO]_d (P_T - P_4) (1 + h_d) = P_5$$

Cependant, l'analyseur de CO peut également être sujet à des effets d'interférence comme ceux qui sont décrits au § 2.5 de sorte que l'équation de mesure des concentrations de CO devient :

$$[CO]_{md} (P_T - P_4) (1 + h_d) + LP_1 + Mh_d (P_T - P_4) = P_5....(6B)$$

3. FORMULES ANALYTIQUES

3.1 GÉNÉRALITÉS

Les équations (1) à (10) peuvent être réduites pour donner les formules analytiques des indices d'émission et des rapports air/carburant indiquées au § 7.1. Cette réduction se fait par élimination successive des racines P_0 , P_1 , à P_8 et P_T en admettant que toutes les mesures de concentration sont effectuées sur échantillon humide et n'exigent pas de corrections d'interférence ou autres. En pratique on choisit souvent la possibilité d'effectuer les mesures de concentration de CO_2 et de CO sur un échantillon sec ou semi-humide; aussi est-il souvent nécessaire de procéder à des corrections d'interférence. Les formules à utiliser dans ces diverses conditions sont indiquées aux § 3.2. , 3.3 et 3.4.

3.2ÉQUATION DE CONVERSION DES MESURES DE CONCENTRATION À L'ÉTAT SEC EN MESURES DE CONCENTRATION À L'ÉTAT HUMIDE

Concentration humide = K x concentrations à sec, c'est-à-dire :

$$[] = K[]d$$

L'expression suivante qui donne K s'applique lorsque les concentrations de CO et de CO2 sont déterminées sur échantillon sec :

$$K = \frac{\left\{4 + \left(n/m\right)T + \left(\left[n/m\right]T - 2h_{vol}\right)\left(\left[NO_{2}\right] - \left(2\left[HC\right]/x\right)\right) + \left(2 + h_{vol}\right)\left(\left[y/x\right] - \left[n/m\right]\right)\left[HC\right]\right\}\left(1 + h_{d}\right)}{\left(2 + h_{vol}\right)\left\{2 + \left(n/m\right)\left(1 + h_{d}\right)\left(\left[CO_{2}\right]_{d} + \left[CO\right]_{d}\right)\right\} - \left(\left[n/m\right]T - 2h_{vol}\right)\left(1 - \left[1 + h_{d}\right]\left[CO\right]_{d}\right)}$$

3.3 CORRECTIONS D'INTERFÉRENCE

Les mesures de CO et/ou d'oxydes d'azote et de NO peuvent exiger des corrections d'interférence dues aux concentrations de CO₂ et d'eau dans l'échantillon avant de les utiliser dans les équations analytiques ci-dessus. Ces corrections peuvent en général s'exprimer de la manière générale suivante :



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 113 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

 $[CO] = [CO]_m + L[CO_2] + M[H_2O]$ $[CO]_d = [CO]_{md} + L[CO_2]_d + M\left(\frac{h_d}{1 + h_d}\right)$ $[NO] = [NO]_m (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$

3.4ÉQUATION POUR LE CALCUL DE LA TENEUR EN EAU DE L'ÉCHANTILLON

 $\eta[NO_2] = ([NOx]_{cm} - [NO]_m) (1 + L'[CO_2] + M'[H_2O])$

La concentration de l'eau dans l'échantillon est donnée par l'équation suivante :

$$[H_2O] = \frac{([n/2m] + h_{vol}[P_0/m]) ([CO_2] + [CO] + [HC])}{1 + T(P_0/m)} - (y/2x) [HC]$$

où

$$P_0/m = \frac{2Z - (n/m)}{4(1 + h_{vol} - [TZ/2])}$$

et

$$Z = \frac{2 - [\text{CO}] - ([2/x] - [y/2x]) [\text{HC}] + [\text{NO}_2]}{[\text{CO}_2] + [\text{CO}] + [\text{HC}]}$$

Il y a lieu de noter que ce calcul est fonction des diverses lectures de concentration des analyses qui peuvent elles-mêmes exiger une correction d'interférence pour l'eau. Pour plus de précision une procédure itérative est nécessaire dans ce cas avec calculs successifs de la concentration d'eau jusqu'à ce que la stabilité nécessaire soit obtenue. L'emploi de la méthode numérique de rechange (§ 4) permet d'éviter cette difficulté.

4. MÉTHODE NUMÉRIQUE DE RECHANGE

- 4.1 À la place des méthodes analytiques résumées au § 3, il est possible d'obtenir facilement les indices d'émission, les rapports air/carburant corrigés, les concentrations à l'état humide, etc., au moyen d'une solution numérique des équations (1) à (10) pour chaque série de mesures en utilisant un ordinateur numérique.
- 4.2 Dans la série d'équations (1) à (10), les mesures réelles de concentration sont substituées en utilisant celles des équations de remplacement (5A), (6A), etc., qui s'appliquent au système de mesure considéré afin de tenir compte des corrections d'interférence et/ou des mesures sur échantillon sec.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 114 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

4.3 Des programmes d'ordinateur simples appropriés à la solution d'un ensemble d'équations à deux dimensions sont largement répandus et leur utilisation à cette fin est commode et souple, permettant d'incorporer et d'identifier facilement n'importe quelle possibilité de séchage d'un échantillon et de correction d'interférence ou autre.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 115 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

SUPPLEMENT F À L'APPENDICE 5 SPÉCIFICATIONS DE DONNÉES SUPPLÉMENTAIRES

Comme il est spécifié au § 3.2 de l'Appendice 5, en plus des concentrations mesurées des éléments de l'échantillon, il faudra également fournir les données suivantes :

- a) température d'admission : température totale mesurée en un point situé à une distance de la prise d'air du moteur égale au diamètre de cette prise d'air avec une précision de ±0,5°C;
- b) humidité de l'air d'admission (kg d'eau/kg d'air sec) : cette humidité est mesurée en un point situé dans une limite de 15m de la prise d'air en avant du moteur avec une précision de ±5% ;
- c) pression atmosphérique : cette pression est mesurée dans un rayon de 1 km du banc d'essai du moteur et corrigée selon les besoins pour tenir compte de l'altitude du banc d'essai avec une précision de ±100Pa;
- d) débit massique de carburant : ce débit est mesuré directement avec une précision de ±2%;
- e) rapport H/C du carburant : ce rapport est égal à la valeur n/m, C_mH_n représentant l'hydrocarbure équivalent du carburant utilisé dans l'essai et évalué en fonction de l'analyse du type de carburant du moteur ;
- f) paramètres du moteur :
 - poussée : mesurée directement avec une précision de ±1% à la puissance de décollage et ±5% à la poussée minimale utilisée dans l'essai de certification avec variation linéaire entre ces deux points ;
 - 2) vitesses de rotation : mesurées directement avec précision d'au moins ±0,5%;
 - 3) débit de l'air dans le générateur de gaz : déterminé avec une précision de ±2% en fonction de l'étalonnage des performances du moteur.

Les paramètres a), b), d) et f) seront déterminés pour chaque régime moteur de l'essai d'émissions tandis que le paramètre c) sera déterminé à des intervalles ne dépassant pas une heure pendant la durée des essais d'émissions.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 116 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

APPENDICE 6 PROCÉDURE DE DÉMONSTRATION DE LA CONFORMITÉ POUR LES ÉMISSIONS DE GAZ, DE FUMÉE ET DE PARTICULES

1. GÉNÉRALITÉS

Les principes généraux suivants doivent être respectés pour démontrer la conformité aux niveaux maximaux admissibles stipulés aux § 2.2, 2.3, 3.2, 3.3 et 4.2 de la Partie 3.

- a) Le constructeur sera autorisé à choisir pour les essais de certification un nombre quelconque de moteurs, même un seul moteur, s'il le désire.
- b) L'Autorité Nationale de l'Aviation Civile tiendra compte de tous les résultats obtenus au cours des essais de certification.
- c) Trois essais de moteur au moins seront effectués, de sorte que si un seul moteur est présenté aux essais de certification il doit être essayé au moins trois fois.
- d) Si un même moteur (i) est essayé plusieurs fois, la valeur moyenne (Xi) des résultats des essais sera considérée comme étant la valeur moyenne pour ce moteur (i). Le résultat des essais de certification sera alors la moyenne arithmétique des valeurs (Xi) obtenue pour chaque moteur essayé.
- e) Le constructeur fournira au service de certification les renseignements spécifiés au § 2.4, 3.4, 4.2 et/ou 4.3 de la Partie 3, selon le cas.
- f) Les moteurs présentés pour les essais doivent avoir des caractéristiques d'émissions représentatives du type de moteur pour lequel la certification est demandée. Toutefois, un des moteurs au moins doit avoir une configuration qui répondra sensiblement à la norme de production de ce type de moteur et des caractéristiques de fonctionnement et de performances parfaitement représentatives. Un de ces moteurs sera appelé le moteur standard de référence. Les méthodes de correction pour ramener les résultats à ce moteur de référence à partir des résultats d'essai des autres moteurs doivent être approuvées par l'Autorité de l'aviation civile. Les méthodes de correction des résultats d'essai pour les effets de l'air ambiant seront celles qui sont indiquées au § 7 de l'Appendice 3, au § 7 de l'Appendice 5, ou au §6 de l'Appendice 7, selon le cas.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 117 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

2. PROCÉDURE DE DÉMONSTRATION DE LA CONFORMITÉ

2.1 Emissions gazeuses et indice de fumée

L'Autorité Nationale de l'Aviation Civile doit délivrer un certificat de conformité si la moyenne des valeurs mesurées et corrigées (pour les ramener au moteur type et aux conditions atmosphériques de référence) pour tous les moteurs essayés ne dépasse pas le niveau réglementaire lorsqu'elle est ramenée à un niveau caractéristique en choisissant le facteur approprié qui est déterminé en fonction du nombre de moteurs essayés (i), comme il est indiqué dans le Tableau A6-1.

Note.— Le niveau caractéristique de l'indice de fumée ou des émissions de gaz est défini comme étant le quotient de la moyenne des valeurs de tous les moteurs essayés, et, pour les émissions gazeuses uniquement, corrigées de manière adéquate pour les ramener au moteur de référence et aux conditions atmosphériques de référence, par le coefficient correspondant au nombre de moteurs essayés, figurant dans le Tableau A6-1.

Tableau A6-1. Coefficients pour déterminer les niveaux caractéristiques

Nombre de moteurs	60	110	NO.	cu.	Concentration massique des
essayés (i)	CO	HC	NOx	SN	nvPM
1	0,814 7	0,649 3	0,862 7	0,776 9	0,776 9
2	0,877 7	0,768 5	0,909 4	0,852 7	0,852 7
3	0,924 6	0,857 2	0,944 1	0,909 1	0,909 1
4	0,934 7	0,876 4	0,951 6	0,921 3	0,921 3
5	0,941 6	0,889 4	0,956 7	0,929 6	0,929 6
6	0,946 7	0,899 0	0,960 5	0,935 8	0,935 8
7	0,950 6	0,906 5	0,963 4	0,940 5	0,940 5
8	0,953 8	0,912 6	0,965 8	0,944 4	0,944 4
9	0,956 5	0,917 6	0,967 7	0,947 6	0,947 6
10	0,958 7	0,921 8	0,969 4	0,950 2	0,950 2
plus de 10	$1 - \frac{0,130\ 59}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,247\ 24}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,09678}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,157\ 36}{\sqrt{i}}$	$1 - \frac{0,157\ 36}{\sqrt{i}}$



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 118 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

2.2 Émissions de particules

L'Autorité Nationale de l'Aviation doit délivrer un certificat de conformité si la moyenne des valeurs maximales de concentration massique des nvPM mesurées et corrigées en fonction des pertes thermophorétiques survenant dans la partie prélèvement du système d'échantillonnage, pour tous les moteurs essayés, ne dépasse pas le niveau réglementaire lorsqu'elle est ramenée à un niveau caractéristique en choisissant le facteur approprié qui est déterminé en fonction du nombre de moteurs essayés (i), comme il est indiqué dans le Tableau A6-1.

Note.— Le niveau caractéristique de la concentration massique maximale des nvPM correspond au quotient de la moyenne des valeurs maximales de tous les moteurs essayés, dûment corrigées en fonction des pertes thermophorétiques survenant dans la partie prélèvement du système d'échantillonnage, par le coefficient correspondant au nombre de moteurs essayés, figurant dans le Tableau A6-1.

2.3 Niveau caractéristique

Les coefficients nécessaires à la détermination des niveaux caractéristiques des émissions de moteur figurent au Tableau A6-1.

3. PROCÉDURE EN CAS D'ÉCHEC

Note.— Si un moteur subit un échec aux essais de certification, cela ne signifie pas nécessairement que le type de moteur ne répond pas aux spécifications, mais cela peut indiquer que le niveau de confiance dans la conformité du moteur aux spécifications donné au service de certification n'est pas suffisamment élevé, c'est-à-dire est inférieur à 90 %. En conséquence, le constructeur devrait être autorisé à présenter des preuves supplémentaires de la conformité du type de moteur aux spécifications.

- 3.1 Si un type de moteur subit un échec aux essais de certification, le service de certification autorisera le constructeur à procéder, s'il le désire, à des essais supplémentaires sur les moteurs soumis à la certification. Si, au total, les résultats d'essai montrent que le type de moteur ne répond pas encore aux spécifications de certification, le constructeur sera autorisé à soumettre aux essais autant de moteurs supplémentaires qu'il le désire. Les résultats de ces essais seront alors pris en considération avec les données antérieures.
- 3.2 S'il y a encore échec, le constructeur sera autorisé à choisir un ou plusieurs moteurs en vue de leur modification. Les résultats des essais déjà effectués sur le ou les moteurs choisis avant modification seront alors examinés et de nouveaux essais seront effectués de sorte que l'on dispose des résultats d'au moins trois essais. La moyenne de ces résultats sera déterminée pour chaque moteur et appelée « moyenne avant modification ».



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 119 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

- 3.3 Le ou les moteurs peuvent alors être modifiés et trois essais au moins seront effectués sur le moteur ou les moteurs modifiés ; la moyenne des résultats de ces essais sera appelée « moyenne après modification » pour chaque moteur. Cette « moyenne après modification » sera comparée à la « moyenne avant modification » afin de juger de l'amélioration relative qui sera ensuite appliquée aux résultats antérieurs des essais de certification afin de déterminer s'il y a finalement conformité. Il y a lieu de noter qu'avant de pouvoir procéder à des essais d'émissions sur ces moteurs modifiés, la modification doit être conforme aux spécifications de navigabilité appropriées.
- 3.4 Cette procédure sera répétée jusqu'à ce que la conformité du type de moteur ait été démontrée ou que la demande de certification ait été retirée.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 120 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

APPENDICE 7. INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURE DES ÉMISSIONS DE PARTICULES NON VOLATILES

1. INTRODUCTION

Note.— La méthode figurant dans le présent Appendice contient des orientations pour le prélèvement d'échantillons représentatifs des particules non volatiles (nvPM) contenues dans les gaz d'échappement de turbomachines, leur acheminement au système de prélèvement et de mesure des nvPM et leur analyse dans ce système. La méthode ne s'applique pas aux moteurs avec postcombustion.

Des méthodes équivalentes à celles qui sont indiquées dans le présent Appendice ne seront autorisées qu'après approbation par l'Autorité Nationale de l'Aviation Civile.

2. DÉFINITIONS, SIGLES ET SYMBOLES

2.1 Définitions

Les expressions ci-dessous, employées dans le présent appendice, ont les significations indiquées :

Carbone élémentaire (EC): Carbone qui absorbe la lumière et qui n'est pas retiré d'un échantillon prélevé sur un filtre chauffé à 870 °C dans une atmosphère inerte durant l'analyse de transmittance thermo-optique (TOT), à l'exclusion du noir de charbon.

Carbone organique (OC): Carbone qui se volatilise dans l'hélium lorsqu'on chauffe à 870 °C un échantillon prélevé sur un filtre en fibre de quartz durant une analyse de transmittance thermo-optique (TOT). Inclut le noir de charbon formé durant la pyrolyse de certaines matières.

Concentration de gaz : Proportion en volume d'un composant dans un mélange de gaz.

Concentration en nombre de particules : Nombre de particules par unité de volume d'échantillon.

Concentration massique de particules : Masse de particules par unité de volume d'échantillon.

Diamètre aérodynamique d'une particule : Diamètre d'une sphère équivalente de densité unitaire ayant la même vitesse de sédimentation que la particule concernée, appelé aussi « diamètre aérodynamique classique ».

Diamètre de mobilité électrique d'une particule : Diamètre d'une sphère qui se déplace avec exactement la même mobilité dans un champ électrique que la particule concernée.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 121 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Distribution granulométrique des particules: Une liste des valeurs ou fonction mathématique qui représente la concentration en nombre des particules en fonction de leur taille.

Fraction de pénétration : Rapport entre la concentration de particules en aval et en amont d'un élément du système de prélèvement.

Gaz d'étalonnage : Gaz de référence de haute précision utilisé pour l'étalonnage, le réglage et les vérifications périodiques des instruments.

Indice d'émission en nombre de particules : Nombre de particules émises par unité de masse de carburant utilisée.

Indice d'émission massique de particules : Masse des particules émises par unité de masse de carburant utilisé.

Laboratoire compétent: Laboratoire d'essai et d'étalonnage qui établit, met en oeuvre et tient à jour un système qualité approprié à son domaine d'activité, en conformité avec la norme ISO/IEC 17025:2005, modifiée périodiquement, ou une norme équivalente, et pour lequel le programme d'étalonnage de l'équipement est conçu et appliqué de manière à assurer que les étalonnages et les mesures effectués par le laboratoire soient traçables au Système international d'unités (SI). L'accréditation officielle du laboratoire au titre de la norme ISO/IEC 17025:2005 n'est pas requise.

Particules non volatiles (nvPM): Particules émises présentes dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement d'un moteur à turbine à gaz, qui ne se volatilisent pas lorsqu'elles sont chauffées à une température de 350 °C.

Parties par million (ppm) : Concentration en unités de volume d'un gaz par million d'unités de volume du mélange dont le gaz considéré fait partie.

Perte de particules : Perte de particules durant le passage dans un système de prélèvement. Cette perte est due aux différents mécanismes de dépôt, dont certains sont fonction de la taille.

Pouvoir séparateur : Plus petite variation d'une mesure qui puisse être décelée.

Précision : Approximation d'une mesure par rapport à la valeur réelle établie indépendamment.

Séparateur catalytique: Dispositif catalytique qui extrait par oxydation les composés volatils.

Séparateur cyclonique : Séparation par rotation ou par gravité des particules d'une taille supérieure à un diamètre aérodynamique prescrit. Le diamètre aérodynamique de coupure spécifié est lié au pourcentage de particules qui pénètrent dans le séparateur cyclonique.

Réponse: Variation du signal émis par un instrument sous l'effet d'une variation de la



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 122 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

concentration d'un échantillon.

Reproductibilité: Précision avec laquelle la mesure d'un échantillon donné immuable peut être reproduite à de courts intervalles sans ajustement de l'instrument.

Stabilité: Précision avec laquelle des mesures répétées sur un échantillon donné stable peuvent être maintenues sur une période de temps donnée.

Système qualité : Système de gestion dans lequel le laboratoire compétent documente ses politiques, systèmes, programmes, procédures et instructions dans la mesure nécessaire pour assurer la qualité des résultats des essais ou des étalonnages.

Temps de montée : Temps nécessaire au signal de sortie pour passer de 10 % à 90 % de sa valeur finale lorsqu'un échantillon de référence est appliqué subitement au système automatique de mesure initialement à l'état de repos. (Ce terme s'applique uniquement dans le cas d'un analyseur en ligne.)

2.2 Sigles

CPC compteur de particules à condensation

FS pleine échelle de l'analyseur

GL tuyauterie de gaz

HEPA filtre à particules de haute efficacité, de classe H13, qui retient au moins

99,97 % des particules de phtalate de dioctyle (0,3 µm de diamètre)

ID diamètre intérieur

ISA atmosphère type internationale (ISO 2533:1975)

LOD limite de détection

NMI Institut national de métrologie

nvPM particules non volatiles (voir la définition)

nvPMmi instrument mesurant la masse des particules non volatiles **nvPMni** instrument mesurant le nombre de particules non volatiles

PTFE polytétrafluoroéthylène

slpm litres standard par minute (litres par minute dans les conditions STP)

STP conditions de mesure à une température de référence de 0 °C et une

pression de référence de 101,325 kPa

TOT transmittance thermo-optique VPR extracteur de particules volatiles

VRE efficacité d'extraction de particules volatiles



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 123 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

2.3 Symboles

[CO] concentration moyenne de CO dans l'échantillon de gaz d'échappement,

en volume, à l'état humide

[CO₂] concentration moyenne de CO₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement

non dilué, en volume, à l'état humide

[CO₂]_b concentration de CO₂ dans l'air sec, en volume = 0,000 3

[CO₂]_{dil1} concentration moyenne de CO₂, en volume, après la première dilution, à

l'état humide

[CO₂]_{dil2} concentration moyenne de CO₂, en volume, après la seconde dilution, à

l'état humide

[CO₂]s concentration moyenne de CO₂, en volume, dans l'échantillon de gaz

d'échappement non dilué, à l'état humide, semi-sec ou sec

DF facteur de dilution = (concentration de l'échantillon avant dilution) /

(concentration de l'échantillon après dilution)

Volume de l'échantillon avant dilution Volume de l'échantillon après dilution

DF₁

facteur de première dilution = $\frac{[CO_2]}{[CO_2]_{dill_2}}$

DF_{1_s} facteur de première dilution calcule directement à partir des échantillons de

[CO₂]s et de [CO₂]dil1

DF₂ facteur de seconde dilution (VPR) selon l'étalonnage par un laboratoire

compétent

Dm diamètre de mobilité électrique des nvPM, µm

D_{xy}, à z nm diamètre aérodynamique auquel sont détectés xy % (efficacité de

détection) des particules de taille z

El_{mass} indice d'émission massique de nvPM corrigé des pertes

thermophorétiques, en mg/kg de carburant

El_{num} indice d'émission en nombre de nvPM corrigé des pertes

thermophorétiques, en nombre/kg de carburant

[HC] concentration moyenne des hydrocarbures gazeux dans l'échantillon de

gaz d'échappement, en volume, à l'état humide, exprimé en carbone

fraction de pénétration du VPR des particules de D_m

 $\eta_{VPR}(D_m)$

K_{thermo} facteur de correction prenant en compte les pertes thermophorétiques dans

la partie Collecte

[NO] concentration moyenne de NO dans l'échantillon de gaz d'échappement,

en volume, à l'état humide

[NO₂] concentration moyenne de NO₂ dans l'échantillon de gaz d'échappement,

en volume, à l'état humide

[NOx] concentration moyenne de NO et de NO2 dans l'échantillon de gaz

d'échappement, en volume, à l'état humide = [NO]+[NO₂]

Mc masse atomique du carbone = 12,011

M_H masse atomique de l'hydrogène = 1,008



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 124 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

M nombre d'atomes de carbone dans la molécule caractéristique du carburant
 N nombre d'atomes d'hydrogène dans la molécule caractéristique du carburant

nvPM_{mass} concentration massique de nvPM mesurée par un instrument dans les conditions STP, corrigée pour tenir compte de la dilution et des pertes thermophorétiques dans la partie prélèvement du système

d'échantillonnage, μg/m³

nvPM_{mass_stp} concentration massique de nvPM, après dilution, mesurée par un

instrument dans les conditions STP, μg/m³

nvPM_{num_stp} concentration en nombre de nvPM, après dilution, mesurée par un

instrument dans les conditions STP, en nombre/cm³

T_{line} température de la paroi de la tuyauterie de prélèvement
 T₁ température de la paroi à l'entrée du dilueur 1, en °C

TEGT température des gaz dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement

d'un moteur, mesurée ou déduite en fonction des performances, en °C

T₉₀ temps de réponse à 90% (temps écoulé entre le moment où la

concentration à l'entrée est modifiée et le moment où le détecteur atteint

90 % de son signal de sortie)

A rapport atomique hydrogène/carbone du carburant = n/m, où C_mH_n est la

représentation équivalente de l'hydrocarbure

3. DONNÉES NÉCESSAIRES

3.1 Émissions de nvPM

- 3.1.1 Pour calculer les émissions de nvPM, en masse et en nombre, on doit déterminer les concentrations suivantes :
 - a) nvPM, en masse: nvPM_{mass STP}:
 - b) nvPM, en nombre : nvPM_{num_STP} ;
 - c) dioxyde de carbone (CO₂): [CO₂] et [CO₂]_{dil 1};
 - d) monoxyde de carbone (CO): [CO];
 - e) hydrocarbures (HC): [HC];
 - f) oxydes d'azote (NOx): [NOx], [NO], [NO₂].

Note.— Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs sur les données nécessaires.

3.1.2 Aux fins de la vérification de l'aptitude au fonctionnement du système, la

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 125 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

concentration de l'émission suivante sera déterminée :

dioxyde de carbone (CO₂): [CO₂]s

3.2 Autres renseignements

Afin de normaliser les résultats des mesures des émissions et de définir les caractéristiques d'essai des moteurs, d'autres renseignements dont la liste figure dans le Supplément F à l'Appendice 3 et dans le Supplément D au présent Appendice seront fournis.

4. DISPOSITION GÉNÉRALE DU SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT ET DE MESURE DES nvPM

- 4.1 Système de prélèvement et de mesure des nvPM
- 4.1.1 Le système de prélèvement et de mesure des nvPM doit comporter trois parties, divisées en cinq sections :
 - a) partie Collecte (section 1);
 - b) partie Acheminement (sections 2, 3 et 4);
 - c) partie Mesure (section 5).
- **Note 1.—** La Figure A7-1 et le Tableau A7-1 donnent une description d'ensemble du système de prélèvement et de mesure des nvPM.
- **Note 2.—** Les Suppléments A, B, C et E au présent Appendice contiennent des prescriptions et des recommandations plus détaillées portant sur chaque section du système.
 - 4.1.2 Les sections 1 à 4 doivent répondre aux exigences suivantes :
 - a) La tuyauterie de prélèvement sera aussi rectiligne que possible.
 - b) La longueur totale de la tuyauterie de prélèvement, de la pointe de la sonde à l'entrée des instruments de mesure, n'excédera pas 35 m. Cette longueur totale n'est pas égale à la somme des longueurs maximales admissibles pour les différentes sections de prélèvement. Les prescriptions détaillées relatives à la longueur sont données dans le Supplément A au présent Appendice et représentées sur la Figure A7-1.
 - 4.1.3 Les sections 1 à 4 doivent aussi répondre aux exigences suivantes :
 - a) le nombre de raccords soit réduit le plus possible et qu'ils soient fabriqués en acier inoxydable et présentent un intérieur lisse ;
 - b) le nombre de raccords de traversée de cloison soit réduit le plus possible et qu'ils



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 126 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

présentent une isolation thermique afin de minimiser le gradient thermique.

Note.— Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs.

- 4.1.4 Les sections 2 à 4 doivent répondre aux exigences suivantes :
- a) Les coudes nécessaires dans la tuyauterie de prélèvement auront un rayon supérieur à 10 fois le diamètre intérieur de la tuyauterie.
- b) Il n'y aura pas d'épaulement vers l'avant supérieur à 15 % du diamètre intérieur.
- c) Le diamètre intérieur de la tuyauterie de prélèvement ne sera pas modifié de plus de 15
 % à une interface avec le circuit du diviseur.
- d) Des différences de diamètre intérieur inférieures ou égales à 15 % ne seront pas considérées comme des changements.
- 4.1.5 Les sections 2 à 4 doivent aussi répondre aux exigences suivantes :

la tuyauterie de prélèvement soit chauffée de manière active au niveau d'un raccord. Si ce n'est pas possible, la chaleur devrait être appliquée le plus près possible du prochain élément chauffé et présenter une isolation thermique au niveau du raccord.

4.2 Partie Collecte

- 4.2.1 La section 1 comprend les éléments de la sonde/rampe de prélèvement et la tuyauterie de raccordement. Elle doit répondre aux exigences suivantes :
 - a) La sonde de prélèvement sera en acier inoxydable ou un autre matériau non réactif à haute température.
 - b) Si une sonde de prélèvement comporte de multiples orifices, ils seront tous d'un diamètre égal. La sonde sera conçue de telle manière que 80 % au moins de la chute de pression à travers la sonde se produise aux orifices.
 - c) Le nombre de points de prélèvement ne sera pas inférieur à 12.
 - d) La section de prélèvement sera aussi proche du plan de sortie de la tuyère d'échappement du moteur que le permet la performance de ce dernier, mais elle ne devra en aucun cas se trouver à une distance du plan de sortie de la tuyère supérieure au rayon de cette dernière.
 - e) Le postulant fournira au service de certification, au moyen de coupes détaillées, la preuve que la conception et la position de la sonde qu'il propose fournissent un échantillon représentatif pour chaque réglage de poussée prescrit.

Autorité Nationale de l'Aviation Civile



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 127 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Note.— Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs sur les procédures pour obtenir des mesures représentatives.

4.3 Partie Acheminement

4.3.1 À l'entrée de la section 2, l'ensemble diviseur 1 séparera l'échantillon en le dirigeant vers la tuyauterie de la partie Acheminement, la GL pour la mesure du CO₂, du CO, des HC et des NOx non dilués et la tuyauterie d'échantillon en excès.

Note.— Cette configuration permet aussi d'utiliser la GL pour mesurer l'indice de fumée, s'il y a lieu, comme l'indique l'Appendice 2.

- 4.3.2 La tuyauterie de la partie Acheminement doit être installée de manière à ce que l'échantillon de nvPM :
 - a) passe à travers le dilueur 1, de type éjecteur, qui le prélève, le dilue et le refroidit .
 - b) passe à travers la section 3;
 - c) passe à travers un séparateur cyclonique et le diviseur 2 dans la section 4 avant d'entrer dans la partie Mesure de la section 5.

4.4 Partie Mesure

4.4.1 Mesure de la masse des nvPM

- 4.4.1.1 Le nvPMmi doit répondre aux prescriptions du Supplément B au présent Appendice.
- 4.4.1.2 Chaque marque et chaque modèle de nvPMmi doivent recevoir un certificat du fabricant ou d'un autre laboratoire d'essai et d'étalonnage compétent confirmant que la marque et le modèle du nvPMmi satisfont aux spécifications de performance énoncées dans le Tableau A7-3 du Supplément B au présent Appendice.

4.4.2 Mesure du nombre de nvPM

- 4.4.2.1 Pour déterminer la concentration en nombre de nvPM, une installation constituée d'un extracteur de particules volatiles (VPR) et d'un compteur de particules à condensation (CPC) montés en série (nvPMni) doit être utilisée. Le VPR comprend un système de dilution (DF2) et un dispositif d'extraction des composés volatils.
- 4.4.2.2 Chaque marque et chaque modèle de VPR et de CPC doivent recevoir un certificat du fabricant ou d'un autre laboratoire d'essai et d'étalonnage compétent



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 128 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

confirmant que les appareils satisfont aux spécifications de performance énoncées dans le Supplément C au présent Appendice.

4.4.3 Circuit d'appoint

- a) Le circuit d'appoint doit être utilisé pour maintenir un débit d'échantillon constant à travers la section 3 et fournir une mesure de la concentration de CO₂ dans l'échantillon dilué.
- b) Le circuit d'appoint doit comporter une pompe, un régulateur de débit et un analyseur de CO₂.
- c) Un filtre à particules doit être installé en amont du régulateur de débit pour protéger les composants.

5. MÉTHODE GÉNÉRALE D'ESSAI

5.1 Étalonnage et maintenance

- 5.1.1 Tous les instruments doivent faire l'objet d'une maintenance conforme aux directives du fabricant.
- 5.1.2 Système de prélèvement et de mesure des nvPM

L'étalonnage et la maintenance du système de prélèvement et de mesure des nvPM doivent être effectués comme suit, au moins annuellement ou selon les recommandations du fabricant .

- a) Le réservoir de collecte du séparateur cyclonique doit être vidé et nettoyé.
- b) L'injecteur du dilueur 1 doit être nettoyé.
- c) Le circuit d'appoint (régulateur) et le débit à l'entrée du nvPMmi, du nvPMni et du VPR doivent être étalonnés au moyen d'un débitmètre traçable à un NMI.
- d) tous les débits étalonnés doivent se trouver dans une limite de 5 % de la FS.
- e) Les transducteurs de pression doivent être étalonnés par un transducteur de pression traçable à un NMI.
- f) Toutes les mesures de pression étalonnées doivent se trouver dans une limite de 2 % de la FS.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 129 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

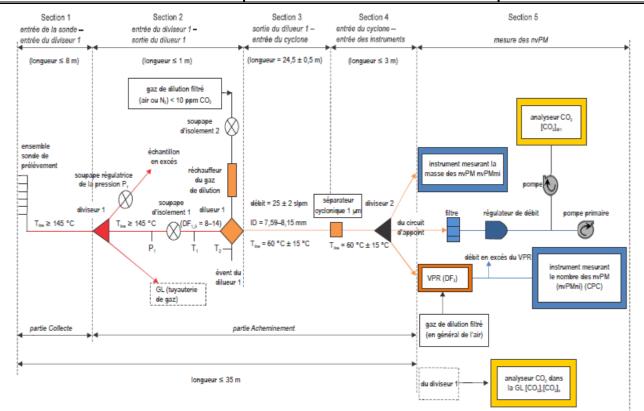


Figure A7-1. Schéma d'ensemble du système de prélèvement et de mesure des nvPM

5.1.3 nvPMmi

- a) Chaque année, un laboratoire compétent doit étalonner le nvPMmi afin qu'il réponde aux prescriptions d'étalonnage figurant dans le Supplément B au présent Appendice.
- b) Il doit être démontré que le nvPMmi est conforme aux spécifications de performance figurant dans le Tableau A7-3 du Supplément B au présent Appendice après des modifications matérielles ou logicielles de l'instrument touchant l'acquisition et le traitement des données.

Note.— Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs.

5.1.4 VPR

- a) Chaque année, un laboratoire compétent doit étalonner le VPR afin qu'il réponde aux prescriptions figurant dans le Supplément C au présent Appendice.
- b) Si le VPR comporte un séparateur catalytique, l'intervalle auquel il est remplacé doit respecter les directives du fabricant.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 130 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Tableau A7-1. Vue d'ensemble des termes relatifs à un système de prélèvement et de mesure des nvPM

Termes		Description	
	Ensemble sonde de	Élément d'une prise à point unique ou multiple utilisé pour obtenir un échantillon	
	prélèvement	représentatif des gaz	
Section 1		d'échappement d'un moteur d'aviation.	
	Tuyauterie de	Tuyau acheminant l'échantillon de la sonde jusqu'à l'entrée du diviseur 1.	
	raccordement		
	Diviseur 1	Ensemble diviseur de flux qui permet de contrôler la séparation de l'échantillon entre les	
		systèmes de prélèvement de particules et de prélèvement de gaz. Il constitue aussi un	
		trajet d'écoulement (échantillon en excédent) servant à limiter et réguler la pression dans	
	Soupape régulatrice	la tuyauterie de prélèvement. Soupape utilisée pour réguler la pression à l'entrée du dilueur 1.	
	de la pression P1	Soupape utilisée pour réguler la pression à l'entrée du dilueur 1.	
	P1	Pression à l'entrée du dilueur 1, contrôlée par la soupape régulatrice de pression quand	
		elle est supérieure à la pression ambiante.	
	T1	Température du tube de prélèvement à l'entrée du dilueur 1, nécessaire pour le calcul	
		des pertes thermophorétiques de particules dans les sections 1 et 2.	
	Soupape d'isolement 1	Permet d'isoler le circuit des particules de l'échantillon dans la GL, de voir si la GL (y	
		compris la sonde) présente	
		des fuites et de vérifier la propreté de la partie Acheminement.	
0 .: 0	Soupape d'isolement 2	Soupape d'arrêt du gaz de dilution pour le dilueur 1.	
Section 2	Dilueur 1	Dilueur de type éjecteur, qui crée à l'entrée de la section 3 une pression presque égale	
		à la pression ambiante. Dilue les échantillons de nvPM au début de la partie	
		Acheminement (première dilution, DF1) pour minimiser la	
		coagulation des particules et réduit la température de l'échantillon pour minimiser les	
	Con do dilution filtuí	pertes thermophorétiques.	
	Gaz de dilution filtré	Gaz comprimé (azote ou air) pour le dilueur 1.	
	Réchauffeur du gaz de dilution	Réchauffe le gaz de dilution avant son entrée dans le dilueur 1. La température du réchauffeur est réglée par la	
	dilution	température à la sortie de l'évent du dilueur 1 (T2).	
	Évent du dilueur 1	Permet la mise à l'atmosphère de l'excédent d'échantillon dilué afin de maintenir une	
		pression presque égale à la	
		pression ambiante à la sortie du dilueur 1 et d'empêcher les surpressions dans la partie	
		Acheminement.	
	T2	Température dans le circuit d'évent servant à régler la température à la sortie du dilueur	
		1.	
		Tuyauterie de gaz. Section chauffée acheminant l'échantillon de gaz d'échappement	
GL		pour la mesure des émissions	
Continuo	I Tomas de de	gazeuses.	
Section 3	Tuyauterie de prélèvement chauffée	Section de prélèvement normalisée. Permet d'effectuer des mesures à une distance sûre du moteur.	
	Séparateur cyclonique	Extrait les particules de grande taille qui ne sont pas produites par combustion et	
	1 µm	contribue à prévenir l'obstruction des	
Section 4	1 2	instruments.	
	Diviseur 2	Ensemble diviseur de flux fournissant des trajets d'écoulement de l'échantillon pour la	
		mesure de la concentration des nvPM, en masse et en nombre, et un troisième trajet	
		pour garantir le maintien du débit dans la section 3.	
	Filtre	Filtre à particules pour prévenir les engorgements et protéger le régulateur de débit.	
	Régulateur de débit	Maintient un débit constant dans la section 3 en régularisant le circuit d'appoint.	
	Pompe primaire	Assure une fonction d'aspiration pour le circuit d'appoint.	
Osstis 5	Analyseur de CO2	Mesure le [CO2]dil1 dans l'échantillon dilué.	
Section 5	nvPMmi	Instrument mesurant la masse des nvPM	
	VPR (DF2)	Dispositif qui extrait les composés volatils et dilue de nouveau les échantillons (seconde	
		dilution, DF2) avant la	
	One de albert (%)	mesure par le nvPMni.	
	Gaz de dilution filtré	Gaz de dilution (azote ou air) pour le VPR.	
	nvPMni (CPC)	Instrument mesurant le nombre de nvPM, qui est en fait un compteur de particules à	
		condensation.	

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 131 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

5.1.5 nvPMni (CPC)

- a) Chaque année, un laboratoire compétent doit étalonner le nvPMni afin qu'il réponde aux prescriptions d'étalonnage figurant dans le Supplément C au présent Appendice.
- b) Le fluide de travail du nvPMni doit être du n-butanol et il sera remplacé conformément aux directives du fabricant.
- c) Il doit démontré que le nvPMni est conforme aux spécifications de performance figurant dans le Supplément C au présent Appendice après toute modification matérielle ou logicielle de l'instrument touchant l'acquisition et le traitement des données.

Note.— Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs.

5.1.6 Analyseurs de gaz

- a) L'étalonnage des analyseurs de CO2, CO, HC et NOx doit être réalisé conformément aux procédures de l'Appendice 3.
- b) L'impureté en CO2 du gaz d'étalonnage du zéro pour l'analyseur de CO2 en aval du dilueur 1 doit être inférieure à 10 ppm.

Note.— La spécification relative à l'impureté en CO2 pour l'analyseur de CO2 en aval du dilueur 1 diffère de la valeur donnée dans le Supplément D à l'Appendice 3.

c) Le gaz de dilution pour le dilueur 1 doit être le même que celui qui est utilisé comme gaz d'étalonnage du zéro de l'analyseur de CO2.

5.2 Fonctionnement du moteur

- 5.2.1 Le moteur doit être placé sur un banc d'essai statique convenablement équipé pour des essais de performances de haute précision.
- 5.2.2 Les essais concernant les émissions de nvPM seront effectués aux réglages de poussée prescrits par le service de certification. Le moteur sera stabilisé à chaque régime.

5.3 Vérification du rapport air/carburant

Chaque essai doit comprendre une vérification visant à assurer que le rapport air/carburant évalué à partir de la concentration globale de carbone dans l'échantillon, à l'exclusion de la fumée, concorde avec l'évaluation fondée sur le rapport air/carburant du moteur avec une précision de ±15 % pour le régime de circulation au sol et de ralenti et de ±10 % pour les autres régimes.

Note.— Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 132 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs concernant l'utilisation d'une procédure équivalente.

5.4 Utilisation du système de prélèvement et de mesure des nvPM

- 5.4.1 Avant une série d'essais d'un moteur, les exigences suivantes doivent être respectées :
 - a) L'étanchéité et la propreté de la partie Collecte seront vérifiées selon les procédures décrites dans le Supplément E au présent Appendice.
 - b) Une vérification du facteur de dilution du VPR (DF₂) sera effectuée comme le décrit le Supplément E.
- 5.4.2 La procédure ci-après doit être adoptée pour la mesure des gaz dans la GL et en aval du dilueur 1 :
 - a) Introduire le gaz d'étalonnage du zéro approprié et effectuer les réglages nécessaires des instruments.
 - b) Introduire le gaz d'étalonnage approprié à une concentration nominale correspondant à 90% de la FS pour les plages à utiliser, et effectuer les réglages correspondants et les consigner.
- 5.4.3 Durant une série d'essais moteur, les exigences suivantes doivent être respectées :
 - a) Avant de procéder aux mesures de nvPM, les appareils de mesure et les tuyaux d'acheminement des échantillons doivent être réchauffés et amenés à une température stabilisée.
 - b) Si un élément/section du système de prélèvement des nvPM est soit nouveau, soit a été nettoyé depuis la dernière utilisation, soit a été utilisé précédemment à d'autres fins que le prélèvement des gaz d'échappement d'un moteur, le système prélèvera les gaz d'échappement du moteur pendant au moins 30 minutes, à n'importe quel régime du moteur, avant qu'il soit procédé aux mesures des nvPM.

Note.— L'élimination de suie bloquant l'orifice du dilueur 1 n'est pas un processus de nettoyage au sens de l'alinéa b).

- c) Il doit être effectué une vérification du bon fonctionnement du nvPMmi conformément aux recommandations du fabricant.
- d) Pour les mesures des nvPM en nombre, les exigences suivantes doivent être respectées :
 - 1) La partie chauffée du VPR est portée à 350 °C ±15 °C.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 133 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

- 2) Si un séparateur catalytique est utilisé dans le VPR, le gaz de dilution contiendra au moins 10 % d'O2.
- 3) Le fluide de travail du nvPMni est au niveau prescrit par le fabricant.
- 4) Le saturateur et le condenseur du nvPMni ont atteint des températures de fonctionnement adéquates.
- e) Il doit être effectué une vérification du bon fonctionnement du nvPMni conformément aux recommandations du fabricant.
- f) Au début et à la fin de l'essai du moteur, une vérification de la propreté de la partie Acheminement doit être effectuée selon les procédures décrites dans le Supplément E au présent Appendice.

Note.— La vérification de la propreté de la partie Acheminement servira également de contrôle opérationnel du zéro des instruments de mesure des nvPM.

g) Au début et à la fin d'un essai moteur, il doit être procédé aux mesures de nvPM dans l'air ambiant selon les procédures décrites dans le Supplément E au présent Appendice.

Note.— Ces mesures servent également de contrôle opérationnel de la réponse du nvPMni.

- h) Le point zéro et le point d'étalonnage de l'analyseur de gaz seront vérifiés de nouveau à la fin de l'essai et à des intervalles d'au plus une heure durant les essais. Si l'un ou l'autre a changé de plus de ±2 % de la FS, l'essai sera répété une fois que l'instrument aura été ramené dans la plage de ses spécifications.
- 5.4.3.1 Une rétro-purge de la section 1 sera effectuée durant la mise en marche et l'arrêt du moteur.
- 5.4.4 Durant les mesures des nvPM d'un moteur, les exigences suivantes doivent être respectées :
 - a) Si P₁ est à une valeur subatmosphérique, la soupape régulatrice de la pression P₁ sera fermée et, si elle est installée, la soupape d'arrêt facultative sera fermée.
 - b) La concentration de CO2 dans la GL et celle en aval du dilueur 1, [CO2]dil1, seront mesurées continuellement et utilisées pour valider et réguler DF1 en temps réel (DF1_S) dans la plage de 8 à 14. Le facteur DF1_S est défini comme suit :

$$DF_{1_S} = \frac{[CO_2]_S}{[CO_2]_{dH_1}}$$

Note.— Pour le calcul de DF_{1_S}, la concentration de CO2 n'a pas à être mesurée à l'état humide.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 134 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

- c) Le débit d'échantillonnage de 25 slpm ±2 slpm dans la section 3 sera contrôlé par la somme du débit d'appoint et du débit à l'entrée du nvPMmi et du VPR.
- d) Quand le fonctionnement du moteur et les concentrations de nvPM et de [CO2]dil1 mesurées sont stabilisés à la poussée requise, la moyenne des données recueillies pendant au moins 30 secondes sera calculée et consignée.
- e) Si le nvPMmi ne dispose pas d'une mesure de la pression de l'échantillon, la pression sera mesurée en un point situé entre la sortie du diviseur 2 et l'entrée du circuit d'appoint, et cette valeur sera consignée.
- f) Si le nvPMni ne dispose pas d'une mesure de la pression de l'échantillon, la pression sera mesurée en un point situé entre la sortie du VPR et l'entrée du nvPMni, et cette valeur sera consignée.

6. CALCULS

6.1 Équations relatives à la concentration massique de nvPM et aux indices d'émission en masse et en nombre de nvPM

Cette procédure est utilisée pour calculer la concentration massique de nvPM et les indices d'émission (EI) en masse et en nombre de nvPM produites par des turbines d'aéronef brûlant du carburant hydrocarboné dans l'air. Toutes les équations utilisent la concentration massique de nvPM et la concentration en nombre de nvPM mesurées par un instrument dans les conditions STP. Si ce n'est pas le cas, l'utilisateur se conformera aux procédures recommandées par le fabricant de l'instrument pour ramener les concentrations obtenues à celles que donnerait un instrument dans les conditions STP.

6.1.1 Concentration massique de nvPM

La concentration massique de nvPM (nvPMmass) représente la masse de particules par unité de volume d'un échantillon de gaz d'échappement, corrigée en fonction du facteur de première dilution (DF1) et des pertes thermophorétiques de particules dans la partie prélèvement. Elle est calculée au moyen de l'équation suivante :

nvPM_{mass} = DF₁ × nvPM_{mass} sTP × k_{thermo}

6.1.2 Indices d'émission en masse et en nombre de nvPM

Les indices d'émission en masse et en nombre de nvPM (Elmass et Elnum) représentent respectivement la masse (en milligrammes) et le nombre de particules dans les gaz d'échappement du moteur par masse de carburant brûlé (en kilogrammes), corrigés en fonction de leurs facteurs de dilution respectifs et des pertes thermophorétiques de particules dans la partie prélèvement. Ils sont calculés au moyen des équations suivantes :



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 135 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

$$\mathrm{EI}_{\mathrm{mass}} = \frac{22.4 \times \mathrm{nvPM}_{\mathrm{mass_STP}} \times 10^{-3}}{\left(\left[\mathrm{CO}_{2}\right]_{\mathrm{dill}} + \frac{1}{\mathrm{DF}_{1}}\left(\left[\mathrm{CO}\right] - \left[\mathrm{CO}_{2}\right]_{\mathrm{b}} + \left[\mathrm{HC}\right]\right)\right)\left(\mathrm{M}_{\mathrm{C}} + \alpha\mathrm{M}_{\mathrm{H}}\right)} \times \mathrm{k}_{\mathrm{thermo}}$$

$$\mathrm{EI}_{\mathrm{mmm}} = \frac{22.4 \times \mathrm{DF_2 \times nvPM}_{\mathrm{mmm_STP}} \times 10^6}{\left(\left[\mathrm{CO}_{2}\right]_{\mathrm{dill}} + \frac{1}{\mathrm{DF_1}}\left(\left[\mathrm{CO}\right] - \left[\mathrm{CO}_{2}\right]_{\mathrm{b}} + \left[\mathrm{HC}\right]\right)\right)\left(\mathrm{M}_{\mathrm{C}} + \alpha\mathrm{M}_{\mathrm{H}}\right)} \times k_{\mathrm{thermo}}$$

Les concentrations [CO₂], [CO] et [HC] seront calculées comme l'indique le Supplément E à l'Appendice 3.

Note 1.— La constante 22,4 utilisée dans les équations de calcul de l'El ci-dessus correspond au volume en litres d'une mole d'air dans les conditions STP, arrondie à une décimale près.

Note 2.— Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs concernant l'utilisation d'une procédure équivalente.

6.2 Facteurs de correction pour les émissions de nvPM

6.2.1 Correction des pertes thermophorétiques de nvPM dans la partie Acheminement

La correction des pertes thermophorétiques de nvPM dans la partie Acheminement sera déterminée au moyen de l'équation suivante :

$$k_{\text{thermo}} = \left(\frac{T_1 + 273,15}{T_{EGT} + 273,15}\right)^{-0.38}$$

Si
$$T_{BOT} \le T_1$$
, alors $k_{themo} = 1$

Note.— Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs.

6.3 Paramètres de contrôle

L'El doit être normalisé par rapport à la température à l'entrée de la chambre de combustion du moteur de référence dans les conditions ISA au niveau de la mer.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 136 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

6.3.1 **Définitions**

Moteur de référence : Moteur dont la configuration répond sensiblement à la norme de production de ce type de moteur et dont les caractéristiques de fonctionnement et de performances sont parfaitement représentatives.

- Foo Poussée nominale (voir la Partie 1, Chapitre 1, Définitions)
- Fn Poussée au régime de fonctionnement n correspondant aux émissions de nvPM communiquées (kN)
- **W**_f Débit massique de carburant du moteur de référence dans les conditions ISA au niveau de la mer (kg/s)
- **W**_{fn} Débit massique de carburant du moteur de référence dans les conditions ISA au niveau de la mer au régime d'utilisation n du CAD
- T_B Température à l'entrée de la chambre de combustion
 - 6.3.2 Les EI en masse et en nombre de nvPM seront obtenus pour chaque régime d'utilisation CAD à la TB du moteur de référence. Un minimum de trois points d'essai sera nécessaire pour définir le régime de ralenti. Pour chaque régime d'utilisation CAD, le débit de carburant correspondant dans les conditions ISA sera obtenu. Les relations suivantes seront déterminées dans les conditions de référence ISA pour les EI en masse et en nombre de nvPM :
 - a) entre El et TB;
 - b) entre Wf et TB;
 - c) entre Fn et TB.
- **Note 1.—** La Figure A7-2 a), b) et c) illustrent ces relations.
- **Note 2.—** Les relations b) et c) peuvent être établies directement à partir des données d'essai des moteurs ou être calculées à partir d'un modèle validé de performances des moteurs.

6.4 Procédures de calcul

L'estimation des El (rapportés à T_B) en masse et en nombre de nvPM aux régimes d'utilisation indiqués doivent être conforme à la procédure générale suivante :

- a) déterminer la température à l'entrée de la chambre de combustion (T_B) [Figure A7-2 c)] aux valeurs de F_n correspondant aux régimes d'utilisation n indiqués, dans les conditions atmosphériques de référence ;
- b) à partir de la caractéristique El/T_B [Figure A7-2 a)], déterminer la valeur El_n

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 137 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

correspondant à TB;

c) à partir de la caractéristique W_f/T_B [Figure A7-2 b)], déterminer la valeur W_{fn} correspondant à T_B .

Note.— Bien que la méthode décrite ci-dessus soit la méthode recommandée, le service de certification peut accepter une méthode mathématique équivalente qui utilise des expressions mathématiques représentant les courbes illustrées si ces expressions ont été établies en utilisant une technique agréée d'ajustement de courbe.

6.5 Dérogation à la méthode proposée

Note.— Dans les cas où la configuration du moteur ou toute autre condition empêcherait d'utiliser cette méthode, le service de certification, après avoir reçu la preuve technique satisfaisante de l'équivalence des résultats obtenus par une autre méthode, peut approuver cette autre méthode.

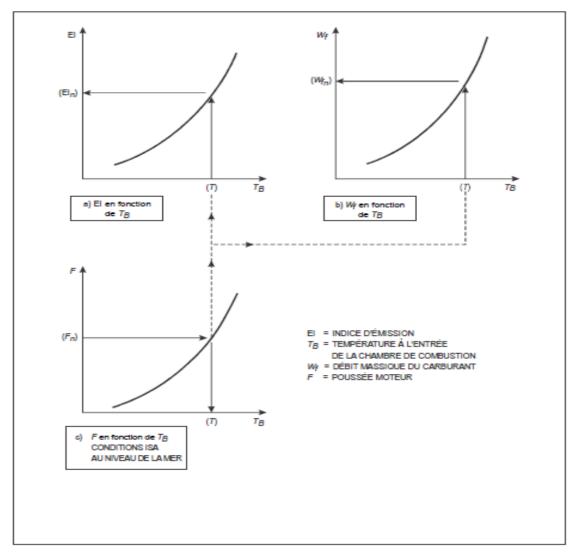


Figure A7-2. EI de nvPM des turbomachines en fonction de plusieurs paramètres moteur



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 138 de 185 Révision: ററ

Date: 01/04/2020

SUPPLÉMENT A À L'APPENDICE 7. EXIGENCES ET RECOMMANDATIONS CONCERNANT UN SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT DES nvPM

1. SECTION 1 : ENTRÉE DE LA SONDE — ENTRÉE DU DIVISEUR 1

- 1.1 La section 1 doit répondre aux exigences suivantes :
- a) Les échantillons seront acheminés de la sonde de prélèvement à la section 2 par une tuyauterie de 4,0 mm à 8,5 mm de diamètre intérieur par la voie la plus directe.
- b) La tuyauterie de prélèvement sera maintenue à une température supérieure ou égale à 145 °C.
- c) La distance entre l'entrée de la sonde et l'entrée du diviseur 1 sera inférieure ou égale à 8 m.

2. SECTION 2 : ENTRÉE DU DIVISEUR 1 — SORTIE DU DILUEUR 1

- 2.1 La section 2 doit répondre aux exigences suivantes :
- a) La section 2 comprendra le diviseur 1 et le dilueur 1.
- b) Le matériau de la tuyauterie de prélèvement sera de nature à réduire au minimum les dépôts de particules ou la production d'électricité statique.

Note.— L'acier inoxydable et le PTFE avec charge de carbone et mise à la masse répondent à ces exigences.

- c) La longueur de la section 2, de l'entrée du diviseur 1 à la sortie du dilueur 1, n'excédera pas 1 m.
- d) La section 2 comprendra la soupape d'isolement 1, qui permet de vérifier l'étanchéité de la GL.
- **2.2**Le diviseur 1 doit répondre aux exigences suivantes :
- a) Le diviseur 1 sera en acier inoxydable.
- b) Le corps du diviseur 1 sera maintenu à une température supérieure ou égale à 145 °C.
- c) Le diviseur 1 séparera l'échantillon d'échappement du moteur en trois trajets d'écoulement.
- d) Les angles de sortie par rapport au flux d'entrée seront aussi aigus que possible, sans



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 139 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

dépasser 35°.

- e) Le trajet de l'échantillon de nvPM sera aussi rectiligne et court que possible.
- f) La géométrie interne du diviseur 1 doit répondre aux exigences suivantes :
 - 1) aucun épaulement vers l'avant sur la paroi intérieure ;
 - 2) aucune modification du diamètre intérieur entre la sortie du diviseur 1 et l'entrée du dilueur 1 :
 - 3) diamètre intérieur de GL = de 4 à 8,5 mm;
 - 4) superficie de la section transversale interne de la tuyauterie d'échantillon en excès supérieure ou égale à la superficie totale d'entrée des pointes de sonde.
- 2.3 La soupape d'isolement 1 doit répondre aux exigences suivantes :
- a) La soupape d'isolement 1 sera placée entre la sortie du diviseur 1 et l'entrée du dilueur 1.
- b) La soupape d'isolement 1 sera à passage intégral sans épaulement vers l'avant de plus de 15 % du diamètre intérieur.
- c) Les joints de la soupape d'isolement 1 seront secs et pourront résister à une température de 175 °C.
- 2.4 La paroi de la tuyauterie des nvPM de la section 2 (T1), à 5 cm au maximum du plan de mélange du dilueur 1, sera maintenue à une température supérieure ou égale à 145 °C comme le montre la Figure A7-3.
- 2.5 Le dilueur 1 doit répondre aux exigences suivantes :
- a) Le dilueur 1 sera de type éjecteur.
- b) Le diamètre intérieur de l'entrée du dilueur 1 sera supérieur ou égal à 7,59 mm.
- c) Le débit du gaz de dilution sera contrôlé comme le spécifie le fabricant.
- d) Le facteur de dilution en temps réel du dilueur 1 sera maintenu dans une plage allant de 8 à 14.

Note 1.— Le facteur de dilution minimal est nécessaire pour réduire au minimum la coagulation des nvPM, et le maximum est nécessaire pour maintenir l'échantillon dilué dans la plage de mesure des instruments.

Note 2.— On peut ajuster le DF1 en contrôlant la P1 au moyen de la soupape régulatrice de pression dans le circuit d'échantillon en excès ou en ajustant le débit du gaz de dilution.

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Page:

140 de 185

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

e) L'évent du dilueur 1 sera ouvert à la pression ambiante (égale à la pression à l'entrée du moteur).

- f) Le corps du dilueur 1 sera chauffé à une température de 60 °C ±15 °C comme le montre la Figure A7-3.
- g) Le gaz de dilution sera de l'azote ou de l'air, à filtration HEPA et contenant moins de 10 ppm de CO2.
- h) Le gaz de dilution sera chauffé de manière que la température de l'échantillon de nvPM dilués soit de 60 °C ±15 °C à l'évent du dilueur 1 (T2).
- i) La pénétration des particules du dilueur 1 répondra aux exigences minimales figurant dans le Tableau A7-2.
- 2.5.1 La chute de pression dans la tuyauterie d'évent du dilueur 1 doit être tenue au minimum, dans la mesure du possible, pour minimiser les incidences sur la gamme utilisable de DF1.
- 2.5.2 Un dispositif de sécurité doit être mis en œuvre pour empêcher la surchauffe du réchauffeur de gaz de dilution lorsque ce dernier ne s'écoule pas.

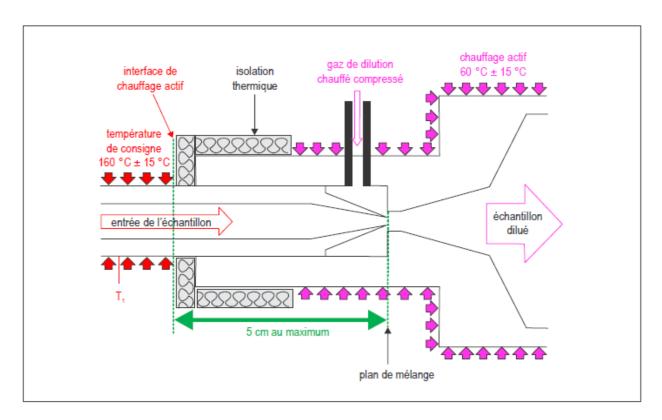


Figure A7-3. Vue en coupe de l'entrée d'un modèle de dilueur 1 de type éjecteur avec interface chauffante



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 141 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

2.6 Tuyauterie de gaz

2.6.1 La GL et les analyseurs d'émissions gazeuses doivent répondre aux spécifications de l'Appendice 3 et de ses Suppléments.

Note.— La partie Collecte (section 1) du système de prélèvement et de mesure des nvPM répond aux spécifications de l'Appendice 3.

2.6.2 Pour déterminer l'El des nvPM, les concentrations gazeuses de CO, HC et NOx dans la GL seront mesurées simultanément.

Note.— Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs.

2.6.3 Pour déterminer le DF_{1_S}, la mesure de la concentration de CO₂ (sec, semi-sec ou humide) dans la GL sera effectuée en même temps que les mesures des nvPM.

Tableau A7-2. Exigences minimales relatives aux fractions de pénétration des particules (degrés d'efficacité de la transmission) du dilueur 1

Taille de mobilité des particules (diamètre)	15 nm	30 nm	50 nm	100 nm
Fraction minimale de pénétration des particules	80%	90%	90%	90%

2.7 Tuyauterie d'échantillon en excès

- 2.7.1 La pression dans la tuyauterie de prélèvement à l'entrée du dilueur 1 (P1) doit être maintenue à une valeur proche de la pression de l'air ambiant local au moyen d'une soupape régulatrice de pression appropriée ayant une surface interne suffisante. La soupape, lorsqu'elle est complètement fermée, sera capable de maintenir une pression vacuométrique de –75 kPa par rapport à la pression ambiante.
- 2.7.2 Une soupape d'arrêt, présentant une surface interne suffisante pour empêcher la contre-pression dans le circuit, doit être ajoutée en aval de la soupape régulatrice de pression afin de prévenir les fuites dans des conditions de pression subatmosphérique à l'intérieur du diviseur 1.

3. SECTION 3: SORTIE DU DILUEUR 1 — ENTRÉE DU SÉPARATEUR CYCLONIQUE

- 3.1 La tuyauterie de prélèvement doit répondre aux exigences suivantes :
- a) La tuyauterie de prélèvement sera en PTFE avec charge de carbone et mise à la masse.
- b) La tuyauterie de prélèvement répondra aux spécifications de la norme ISO 8031 relative aux propriétés antistatiques.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 142 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

c) La tuyauterie de prélèvement aura un diamètre intérieur entre 7,59 et 8,15 mm.

Note.— Compte tenu des tolérances de fabrication, les diamètres intérieurs spécifiés correspondent à des diamètres extérieurs des tuyaux offerts sur le marché de 3/8 et de 7/16 de pouce, les deux présentant une paroi d'une épaisseur de 0,035 pouce, et de 10 mm présentant une paroi d'une épaisseur de 1 mm.

- d) La tuyauterie sera d'une longueur de 24,5 m ±0,5 m, sans raccord inutile, et comportera trois segments au maximum.
- e) Les rayons de courbure de la tuyauterie seront supérieurs à 0,5 m.
- f) La température de la tuyauterie de prélèvement sera maintenue à à 60 °C ±15 °C à l'aide d'un dispositif de chauffage actif.
- g) Le flux d'échantillon sera maintenu à 25 slpm ±2 slpm.

4. SECTION 4 : ENTRÉE DU SÉPARATEUR CYCLONIQUE — ENTRÉE DES INSTRUMENTS

4.1 Séparateur cyclonique

Le séparateur cyclonique doit répondre aux exigences suivantes :

- a) Le séparateur cyclonique sera en acier inoxydable.
- b) Le séparateur cyclonique sera chauffé à 60 °C ±15 °C.
- c) Le diamètre intérieur de l'entrée et de la sortie du séparateur cyclonique présentera une différence de moins de 15 % par rapport au diamètre intérieur de la tuyauterie à l'entrée et à la sortie.
- d) Les performances du séparateur cyclonique à un débit d'échantillon de 25 slpm seront les suivantes :
 - 1) point de coupure : $D_{50} = 1,0 \mu m \pm 0,1 \mu m$;
 - 2) précision : $(D_{16}/D_{84})^{0.5}$ inférieure ou égale à 1,25 ;
 - 3) chute de pression : ΔP inférieure ou égale à 2 kPa.

4.2 Diviseur 2

Le diviseur 2 doit répondre aux exigences suivantes :

a) Le corps du diviseur 2 sera en acier inoxydable.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Date:

Page:

Révision: 00 01/04/2020

143 de 185

b) Le diviseur 2 sera chauffé à 60°C ±15 °C.

- c) Le diviseur 2 séparera l'échantillon en trois trajets d'écoulement pour amener l'échantillon de nvPM dilué :
 - 1) au nvPMmi;
 - 2) au VPR;
 - 3) au circuit d'appoint.
- d) Les angles de division par rapport au flux d'entrée seront aussi aigus que possible sans dépasser 35°.
- e) Tous les trajets des échantillons de nvPM seront aussi rectilignes et aussi courts que possible.
- f) La géométrie interne du diviseur 2 répondra aux exigences suivantes :
 - 1) aucun épaulement vers l'avant dans la paroi intérieure ;
 - 2) aucune modification du diamètre intérieur de la sortie du diviseur 2 à l'entrée du nvPMmi;
 - 3) aucune modification du diamètre intérieur de la sortie du diviseur 2 à l'entrée du VPR.

4.3 Interface du système de mesure

Les tuyauteries de prélèvement du nvPMmi et du VPR répondront aux exigences suivantes :

- a) Les tuyauteries seront en acier inoxydable ou en PTFE avec charge de carbone et mise à la masse.
- b) La tuyauterie de prélèvement sera en PTFE avec charge de carbone et mise à la masse, répondra aux spécifications de la norme ISO 8031 relative aux propriétés antistatiques.
- c) La tuyauterie de prélèvement sera chauffée à 60°C ±15°C.
- d) Il n'y aura pas de modification du diamètre intérieur entre la tuyauterie de prélèvement et les entrées des instruments.
- e) La longueur totale de la tuyauterie reliant l'entrée du séparateur cyclonique à l'entrée du nvPMmi et à l'entrée du VPR sera aussi courte que possible et n'excédera pas 3 m.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 144 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

5. SECTION 5: MESURE DES nvPM

5.1 Circuit d'appoint

- 5.1.1 Les éléments qui composent le circuit d'appoint doivent répondre aux exigences suivantes :
 - a) La pompe primaire et le régulateur de débit maintiendront à travers la section 3 un débit d'échantillon total constant (somme du débit d'appoint et des débits du nvPMmi et du VPR) de 25 slpm ±2 slpm, jusqu'à une pression de 10 kPa sous la pression ambiante;
 - b) L'analyseur de CO₂ mesurera en continu la concentration de CO₂ en aval du dilueur 1 [CO₂]dil1 durant la mesure des nvPM.
- **Note 1.—** Selon la configuration de prélèvement, il peut y avoir plusieurs régulateurs de débit et plusieurs pompes.
- **Note 2.—** Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs.
 - 5.1.1.1 Des filtres à particules seront installés en amont des régulateurs de débit pour protéger les composants.
 - 5.1.2 Si aucune mesure de la pression de l'échantillon n'est disponible pour le nvPMmi, la pression sera mesurée à la sortie du diviseur 2 vers le circuit d'appoint.
 - 5.1.3 L'analyseur de CO₂ répondra aux exigences suivantes :
 - a) l'analyseur de CO₂ sera placé après un régulateur de débit ;
 - b) l'analyseur de CO₂ satisfera aux spécifications de performances figurant dans les sections Analyseur de CO₂ et Analyseurs de CO et de CO₂ du Supplément B à l'Appendice 3, à l'exception des spécifications de l'alinéa a).
 - 5.1.3.1 La gamme complète de valeurs de l'analyseur de CO₂ sera approximativement de dix fois inférieure à celle de l'analyseur de CO₂ utilisé dans la GL.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 145 de 185 Révision: 00 Date: 01/04/2020

SUPPLÉMENT B À L'APPENDICE 7. SPÉCIFICATION RELATIVE À L'INSTRUMENT DE MESURE DE LA MASSE DES nvPM ET À L'ÉTALONNAGE

Note 1.— Dans le présent Supplément, la masse du carbone élémentaire (EC) est utilisée comme substitut de la masse des nvPM. Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs.

Note 2.— La section 2 du présent Supplément contient une description détaillée de la méthode de mesure de référence, la transmittance thermo-optique (TOT). Les laboratoires d'étalonnage utilisent couramment cette méthode, mais on ne s'attend pas à ce que les fabricants de moteurs d'aviation l'utilisent.

Note 3.— Le présent Supplément fait référence à la norme ISO 9169:2006 — Qualité de l'air — Définition et détermination des caractéristiques de performance d'un système automatique de mesure.

1. SPÉCIFICATIONS

Chaque marque et chaque modèle de nvPMmi doivent recevoir un certificat du fabricant ou d'un autre laboratoire d'essai et d'étalonnage compétent, confirmant que :

- a) la plage de mesure sera de 0 µg/m³ à 1000 µg/m³ ou plus grande ;
- b) le pouvoir séparateur sera de 1 μg/m³ ou meilleur ;
- c) l'appareil sera insensible aux particules volatiles ;

Note 1.— Les particules volatiles sont des particules qui se trouvent dans les gaz d'échappement issus d'une combustion et se volatilisent à des températures inférieures ou égales à 350 °C.

- Note 2.— Cette spécification est satisfaite quand le nvPMmi répond à la spécification de performance sur l'applicabilité figurant dans le Tableau A7-3.
 - d) l'instrument satisfait aux spécifications de performance énumérées dans le Tableau A7-3.

Note 1.— Les références à la norme ISO 9169 indiquées dans le Tableau A3-7 par un astérisque renvoient aux sections pour lesquelles des modifications ont été appliquées comme le décrit la section 4 du présent Supplément.

Note 2.— Les spécifications de performance traduisent les limites des quantités qui peuvent

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 146 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

être vérifiées en utilisant la transmittance thermo-optique (TOT) comme méthode de mesure de référence. La méthode TOT est décrite dans la section 2.

Note 3.— Seule la spécification de performance relative à la précision est nécessaire et appliquée dans la procédure d'étalonnage annuel décrite dans la section 5 du présent Supplément.

Note 4.— L'applicabilité est établie selon la procédure décrite dans la section 3 du présent Supplément.

Tableau A7-3. Spécifications de performance pour les instruments mesurant la masse des nvPM (nvPMmi)

Spécification de performance	Valeur (inférieure ou égale à)	Méthode de détermination
Reproductibilité	10 μg/m ³	ISO* 6.4.5.3
Dérive du zéro	10 μg/m³/h	ISO 6.6 (pour le CO seulement)
Linéarité	15 μg/m³	ISO* 6.4.5.4
Limite de détection (LOD)	1 μg/m³	ISO* 6.4.5.5
Temps de montée	2 secondes	ISO 6.3
Intervalle d'échantillonnage	1 seconde	ISO 2.1.7
Précision (Accord avec la concentration massique du carbone élémentaire déterminée par la méthode TOT)	±10 %	Pente de régression linéaire entre la concentration massique déterminée par le nvPMmi et la concentration massique du carbone élémentaire déterminée par la méthode TOT après étalonnage (Tableau A7-5)
Applicabilité	±16 %	Validation sur les gaz émis par une turbomachine

2. MÉTHODE DE TRANSMITTANCE THERMO-OPTIQUE (TOT)

La transmittance thermo-optique (TOT) doit être la méthode de mesure de référence utilisée pour démontrer la conformité aux spécifications de performance de chaque marque et modèle de nvPMmi et pour étalonner l'instrument. Elle permet de déterminer la quantité d'EC et d'OC dans les échantillons de nvPM.

2.1 Généralités

- 2.1.1 L'analyseur TOT sera soit un instrument de laboratoire [avec détecteur à ionisation de flamme (FID)], soit un instrument fonctionnant en semi-continu [avec détecteur non dispersif à absorption dans l'infrarouge (NDIR)].
- 2.1.2 La méthode TOT utilisera le profil de température spécifié dans le Tableau A7-4.

Note.— Le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation contient des éléments indicatifs sur la méthode TOT.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 147 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

2.2 Réactifs et fournitures

2.2.1 Les réactifs suivants seront utilisés :

- a) solutions aqueuses de saccharose de qualité réactif (99% ou plus), dilué avec de l'eau (H₂O) ultrapure de type I, ou un équivalent, pour produire une solution de 0,1 à 3 mg C par millilitre ;
- b) He pureté 5,0 (supérieure à 99,999 %);
- c) H₂ pureté 4,5 (supérieure à 99,995 %);
- d) air zéro (contenant moins de 0,2 ppm d'hydrocarbures);
- e) mélange certifié: 10 % d'O2 dans He;
- f) mélange certifié : 5 % de CH4 dans He.

2.2.2 Le matériel suivant sera utilisé :

- a) pour l'instrument de laboratoire : un poinçon métallique équipé d'un outil pour retirer du filtre une partie rectangulaire de 1,0 cm² ou 1,5 cm² ;
- b) pour l'instrument fonctionnant en semi-continu : un poinçon métallique équipé d'un outil pour retirer deux filtres circulaires de 2,0 cm² ;
- c) filtres en fibre de quartz Pall Tissuquartz™, ou l'équivalent ;
- d) seringue de 10 microlitres.

2.2.3 Préparation des filtres

Selon l'instrument utilisé, les filtres doivent être préparés comme suit :

- a) pour l'échantillonnage et l'analyse manuels, tous les filtres en fibre de quartz seront préchauffés avant l'échantillonnage dans un four à moufle à une température égale ou supérieure à 550 °C pendant 12 heures, ou à une température égale ou supérieure à 800 °C pendant une heure ou deux, et rangés dans un contenant hermétique; ou
- b) pour une analyse en semi-continu, le conditionnement des filtres sera réalisé par l'exécution d'au moins un cycle complet de mesure comme le décrit le Tableau A7-4.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 148 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Tableau A7-4. Profil de température requis pour le cycle d'analyse de la méthode TOT

Gaz porteur	Température (°C)	Temps à cette température (secondes)
	310	80
	475	80
100% He	615	80
	870	110
	550	45
	550	45
	625	45
	700	45
10%O ₂ dans He	775	45
	850	45
	870	60
	930	120
5% CH ₄ dans He	0	120

2.3 Préparation des échantillons

2.3.1 Le filtre d'échantillons doit être placé sur une feuille d'aluminium propre.

Note.— On peut nettoyer la surface de la feuille avec de l'alcool isopropylique ou de l'acétone. Dans ce cas, il faut laisser le solvant résiduel s'évaporer avant de se servir de la surface. On peut aussi nettoyer la feuille en la chauffant dans un four à moufle avant de s'en servir.

2.3.2 Une partie représentative du filtre sera découpée au poinçon. La manipulation des filtres se fera selon de bonnes pratiques de laboratoire.

2.4 Étalonnage et contrôle qualité

- 2.4.1 Le capteur de température commandant la température du four aura été étalonné au moyen d'un étalon de transfert traçable au cours de l'année précédant toute analyse TOT.
- 2.4.2 Si un instrument de laboratoire est utilisé, la réponse du FID sera étalonnée. L'étalonnage se fera selon la procédure suivante :
 - a) préparer un étalon externe constitué d'une solution de saccharose dans de l'eau exempte de matière organique ;
 - b) disperser 10 microlitres de la solution sur des parties découpées au poinçon dans un filtre en quartz neuf et propre, préalablement passé au four ;



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 149 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

- c) analyser au moins trois échantillons « méthode à blanc » et trois échantillons de solution de saccharose pour vérifier que l'étalonnage de l'instrument présente un pourcentage de récupération de 95 à 105 % de la masse théorique de C (μgC mesuré/μgC dispersé).
- 2.4.3 Si un instrument fonctionnant en semi-continu est utilisé, la réponse du NDIR sera étalonnée. L'étalonnage se fera selon la procédure suivante :
 - a) préparer un étalon externe constitué d'une solution de saccharose dans de l'eau exempte de matière organique ;
 - b) disperser 10 microlitres de la solution sur des parties découpées au poinçon dans un filtre « boat » préconditionné distinct, inséré dans la partie inférieure d'un semi-tube de quartz ;
 - c) analyser au moins trois échantillons « méthode à blanc » et trois échantillons de solution de saccharose pour vérifier que l'étalonnage de l'instrument présente un pourcentage de récupération de 95 à 105 % de la masse théorique de C (µgC mesuré/µgC dispersé).
- 2.4.4 Si les analyses utilisant un filtre demandent plus d'une journée, il sera procédé chaque jour à une seule vérification de contrôle qualité, utilisant généralement la solution de saccharose en réserve, qui sera dispersée sur le filtre et analysée. Les résultats se situeront entre 95 et 105 % de la masse théorique de C.

Note.— Pour l'essai à blanc, un filtre de quartz préalablement chauffé est utilisé sans addition de saccharose mais il est procédé de la même manière.

2.5 Mesure

La mesure doit être obtenue en procédant comme suit :

- a) Utiliser l'analyseur TOT selon les recommandations du fabricant.
- b) Placer une portion d'échantillon dans le four.
- c) Déterminer la masse de EC et de OC en μg.

Note.— Il est rendu compte des résultats de l'analyseur TOT en μg/cm² de C.

- d) Les résultats finaux pour les échantillons seront toujours corrigés sur la base d'essais à blanc.
 - 1) Pour l'instrument de laboratoire, l'essai à blanc consiste à traiter des filtres en fibre de quartz préalablement chauffés de la même manière que les échantillons, sauf qu'aucun air ne passe à travers le filtre. Une charge en masse de EC par unité de superficie supérieure ou égale à 0,3 µg/cm2 dans les échantillons blancs représente



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 150 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

une souillure.

- 2) Pour l'analyseur semi-continu, une mesure du réseau interne de filtres sera effectuée sans faire passer aucun gaz échantillon à travers les filtres.
- e) Les résultats finaux de l'échantillonnage seront toujours corrigés pour les artefacts OC en phase gazeuse. Pour cette correction, les conditions de fonctionnement (durée et débit) seront identiques à celles utilisées pour le prélèvement des échantillons. En fonction de l'instrument utilisé, la procédure sera la suivante :
 - 1) Pour les analyses de laboratoire, une configuration de prélèvement consistant en un filtre en Teflon suivi d'un filtre secondaire en quartz préalablement chauffé, ou d'un filtre en quartz préalablement chauffé suivi d'un filtre secondaire en quartz préalablement chauffé, sera employée avec le filtre secondaire analysé comme prescrit dans le Tableau A7-4. Tout OC trouvé sur les filtres secondaires sera soustrait de l'OC trouvé sur les filtres de prélèvement.
 - 2) Pour les analyses semi-continues, un filtre en Teflon sera inséré dans la configuration d'échantillonnage avant l'analyseur. Tout OC trouvé pendant cette mesure sera soustrait de l'OC trouvé pendant la mesure sur échantillon.

2.6 Calculs

Pour l'instrument de laboratoire :

- a) multiplier le résultat communiqué du chargement en EC (μ g/cm²) par la surface de dépôt du filtre (cm²) pour calculer la masse totale d'EC (μ g) sur chaque échantillon de filtre (W_{EC});
- b) faire le même calcul qu'à l'alinéa a) pour les essais à blanc et calculer la masse trouvée dans l'essai à blanc moyen (W_b) ;
- c) calculer la concentration massique en EC (C_{EC}) dans le volume d'air échantillonné aux conditions STP, V (en m³) :

$$C_{EC} = \frac{W_{EC} - W_b}{V} ~(\mu g/m^3)$$

Note 1.— L'instrument semi-continu donne la concentration massique en EC comme résultat communiqué.

Note 2.— Des éléments indicatifs sur le principe de la méthode TOT figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

3. PROCÉDURE POUR DÉMONTRER LA CONFORMITÉ AUX SPÉCIFICATIONS DE PERFORMANCE

Note.— La procédure décrite dans cette section est utilisée pour démontrer la conformité aux spécifications de performance de chaque marque et modèle du nvPMmi.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 151 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Les spécifications relatives à la performance figurant dans le Tableau A7-3 doivent être démontrées par la méthode TOT de la manière décrite à la section 2 du présent Supplément. Les mesures seront effectuées en utilisant les deux sources suivantes : une flamme de diffusion comme source d'aérosols de combustion et l'échappement d'un moteur à turbine à gaz comme source de nvPM.

3.1 Mesure utilisant une flamme de diffusion comme source d'aérosols de combustion

- 3.1.1 Le système de mesure doit comprendre :
- a) une flamme de diffusion comme source d'aérosols de combustion ;
- b) un système de dilution utilisant un diluant filtré par HEPA pour contrôler les concentrations cibles en masse d'EC;
- c) un séparateur cyclonique avec point d'arrêt de 1 μm en amont de l'instrumentation TOT et du nvPMmi ;
- d) un ensemble répartiteur répondant aux spécifications de la section 4.2, alinéas d) et f), du Supplément A au présent Appendice ;

Note.— Une procédure équivalente figure dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

- e) une tuyauterie d'acier inoxydable ou anti-statique pour relier l'échantillonneur manuel à filtre de quartz, ou un analyseur EC/OC semi-continu, et le nvPMmi. Toute la tuyauterie sera du même matériau, de la même longueur et à la même température, du point de dispersion jusqu'aux orifices de l'instrument;
- f) Une tuyauterie antistatique sera utilisée, elle réponda à la spécification antistatique de l'ISO 8031.
- 3.1.2 En fonction de l'instrument utilisé pour la mesure TOT, les spécifications suivantes doivent être respectées :
 - a) si un échantillonnage manuel et un analyseur de laboratoire sont utilisés, on utilisera un filtre de quartz préalablement chauffé dans un porte-filtre en acier inoxydable ayant une section d'entrée en pointe avec un demi-angle ≤ 12,5°, fonctionnant à une vitesse d'entrée dans le filtre inférieure ou égale à 0,5 m/s aux conditions de fonctionnement réelles. Le diamètre du dépôt sur le filtre sera suffisamment grand pour permettre que soit prélevée au poinçon au moins une partie de chaque filtre. Au moins une partie prélevée au poinçon sur chaque échantillon recueilli dans un filtre de quartz sera analysée; ou
 - b) si un analyseur TOT semi-continu est utilisé, il fonctionnera à une vitesse à la



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 152 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

face du filtre inférieure ou égale à 0,5 m/s.

- 3.1.3 Des mesures seront faites à des niveaux étagés de la concentration massique cible en EC spécifiés dans le Tableau A7-5. Les concentrations massiques en EC réalisées ne s'écarteront pas de plus de 20 % des concentrations massiques cibles spécifiées.
- 3.1.4 À chaque niveau de concentration, des échantillons seront prélevés pendant une durée semblable pour établir un chargement reproductible du filtre EC. Le chargement du filtre EC sera de 12 ±5 µg/cm2.
- 3.1.5 La durée d'établissement de la moyenne définie dans l'ISO 9169 sera la même que la durée de collecte sur le filtre.

Tableau A7-5. Paramètres de chargement massique de EC pour les échantillons d'étalonnage.

Concentration cible (µg/m3)	Certificat d'approbation Nombre d'essais	Étalonnage annuel Nombre d'essais
0 (essai à blanc)	6	3
50	6	0
100	6	3
250	0	3
500	6	3

- 3.1.6 La teneur en EC moyenne déterminée par la méthode TOT sera supérieure ou égale à 80 % du carbone total.
- 3.1.7 Les concentrations massiques de EC obtenues par la méthode TOT et les concentrations massiques du nvPMmi seront utilisées pour déterminer les paramètres spécifiés dans la section 4 du présent Supplément qui démontrent la conformité aux spécifications de performance du Tableau A7-3.
- 3.1.8 Trois (03) points à 50 µg/m3 seront testés pour l'étalonnage annuel.

3.2 Mesure utilisant la sortie d'un moteur à turbine à gaz comme source de nvPM

3.2.1 Les § 3.1.4 et 3.1.5 seront répétés pour la sortie d'un moteur à turbine à gaz utilisé comme source de nvPM utilisant la mesure spécifiée aux § 3.1.1, alinéas c), d) et e), et 3.1.2, avec un système de dilution utilisant un diluant filtré par HEPA.

Note.— Il convient d'utiliser une dilution suffisante pour empêcher la condensation d'eau dans la tuyauterie de prélèvement.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 153 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

- 3.2.2 On obtiendra un minimum de quatre points de données pour un minimum de trois niveaux de poussée différents, avec des mesures en double faites seulement à un des niveaux de poussée en utilisant le système d'échantillonnage de nvPM spécifié ci-dessus. Les mesures seront effectuées à un minimum de trois concentrations cibles, chacune séparée de la suivante d'un facteur 1,5 au minimum ; une concentration au moins sera supérieure à 120 μg/m³ et une concentration au moins sera inférieure à 120 μg/m³. Le chargement du filtre en EC pour ces quatre points de données sera compris entre 2,5 μg/cm² et 17 μg/cm³.
- 3.2.3 Les concentrations massiques en EC obtenues par la méthode TOT et les concentrations massiques du nvPMmi seront utilisées pour déterminer l'applicabilité comme spécifié au Tableau A7-3 afin de démontrer la conformité aux spécifications de performance.
- 3.2.4 Le carburant pour l'essai moteur sera un des carburants pour moteurs d'aviation à turbine mentionnés dans le Manuel sur la fourniture de carburants pour réacteurs en aviation civile (Doc 9977), Chapitre 3, § 3.2. Le même carburant sera utilisé pour les quatre points de données minimaux.

4. CALCUL DE PERFORMANCE DES INSTRUMENTS

- 4.1Les paramètres de performance du nvPMmi que sont la dérive du zéro, le temps de montée et le taux d'échantillonnage doivent être déterminés comme spécifié dans l'ISO 9169, § 6.6, 6.3 et 2.1.7 respectivement.
- 4.2Le paramètre de reproductibilité du nvPMmi à un intervalle de confiance de 95 % doit être déterminé en utilisant 6 mesures consécutives à chaque niveau de concentration, comme :

$$s_{\mathbf{r_i}}^2 = s_{Y_i}^2 - \Delta^2 \cdot s_{C_i}^2$$

 $s_{Y_i}^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{i,j} - \overline{Y}_i)^2}{(n-1)}$

 s_{C_i} écart type sur j du $C_{i,j}$ pour le niveau i

 $Y_{i,j}$ résultat de la mesure par l'instrument du matériau de référence $C_{i,j}$

C_{i,j} j^e occurrence de concentration du matériau de référence au niveau i

Y_i moyenne sur j de Y_{i,j}

n nombre de mesures consécutives à chaque niveau de concentration (6 au minimum)

Δ pente de la fonction de régression appliquée dans le test d'inadéquation, déterminée à partir des équations suivantes :

$$E_{i,j} = Y_{i,j} - (\Gamma + \Delta \times C_{i,j})$$

$$\sum_{i=1}^{n} F_{i,i}$$

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} E_{i,j}}{n}$$

où

οù

 $E_{i,j}$ est la différence entre $C_{i,j}$, et $Y_{i,j}$;

 E_i est la moyenne sur j des $E_{i,j}$;

Γ est le point d'interception de la fonction de régression appliquée dans le test d'inadéquation.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 154 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Note.— Si la reproductibilité ainsi déterminée est négative, ceci indiquant que la variance des mesures ne pourrait être distinguée de la variabilité du matériau de référence, il convient de répéter le test en portant plus d'attention à la stabilité de la source du matériau de référence (réglages en débit et en pression de la source de nvPM au niveau de la flamme de diffusion) et à la précision de détermination du niveau du matériel de référence (chargements et procédures de la méthode TOT). Sans cela, il peut être indiqué que la reproductibilité est « nettement meilleure que $\Delta \cdot s_{c_l}^2$ ».

4.3La linéarité du nvPMmi sera déterminée comme spécifié dans l'ISO 9169, § 6.4.5.4, la quantité résiduelle étant déterminée par l'équation suivante :

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^n E_{i,j}}{n}$$

4.4La LOD du nvPMmi sera déterminée comme spécifié dans la norme ISO 9169, § 6.4.5.5. Si l'instrument ne fait pas de mesure lorsqu'il n'y a pas de particules dans l'échantillon, une plus haute concentration massique de nvPM, CLOD, juste supérieure à zéro, sera utilisée de manière que l'instrument produise des lectures régulières. La LOD dans ce cas sera déterminée comme :

$$Y_{LOD.0.95} = \overline{Y}_{LOD} - C_{LOD} + 2 \times t_{v.0.95} \times s_{LOD}$$

où

Y_{LOD,0.95} est la limite de détection à un intervalle de confiance de 95 %;

 \overline{Y}_{LOD} est la moyenne des valeurs $Y_{LOD,i}$;

C_{LOD} est la moyenne des valeurs C_{LOD,i};

 $t_{\nu,0,95}$ est le facteur de Student bilatéral à 95 % de confiance, degré $\nu=n-1$;

s_{LOD} est l'écart type associé à la moyenne Y_{LOD}.

Note.— Le matériau de référence pourrait n'être pas le même dans des mesures consécutives effectuées pendant l'établissement de la moyenne. Ainsi, chaque détermination de la valeur du matériau de référence peut être différente, même si elle est bien connue telle que déterminée par la méthode TOT. Les définitions de la norme ISO 9169 sont modifiées pour tenir compte de cette variabilité.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 155 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

5. ÉTALONNAGE

- 5.1 Le nvPMmi sera étalonné chaque année en utilisant la méthode TOT et un agencement du système spécifié aux § 3.1.1 et 3.1.2 du présent Supplément.
- 5.2 Des mesures seront faites à des niveaux étagés de la concentration massique cible en EC spécifiée dans le Tableau A7-5. Les concentrations massiques en EC réalisées se situeront dans une plage de ±20 % des concentrations massiques spécifiées.
- 5.3 À chaque niveau de concentration, les échantillons seront prélevés pendant une durée semblable pour établir un chargement du filtre en EC reproductible. Le chargement du filtre en EC sera de 12 ±5 μg/cm2.
- 5.4La durée d'établissement de la moyenne définie dans la norme ISO 9169 sera la même que la durée de prélèvement sur le filtre.
- 5.5 Les concentrations massiques en EC obtenues par la méthode TOT et les concentrations massiques du nvPMmi seront utilisées pour établir le meilleur ajustement pour les points de données provenant de l'étalonnage des instruments. Une méthode linéaire des moindres carrés sera utilisée pour déterminer le facteur d'échelle b pour l'ajustement des concentrations massiques de nvPM indiquées par le nvPMmi, comme suit :

$$b = \frac{\sum x_i y_i}{\sum x_i^2}$$

οù

- x_i est la i^e mesure de nvPMmi ;
- y_i est la i^e concentration massique d'EC obtenue par la méthode TOT ;
- b est la pente de la droite la mieux ajustée.
- **Note 1.—** Une fois que le facteur d'échelle b est appliqué, la pente d'une régression linéaire des teneurs en EC par rapport aux lectures d'instrument ajustées par b est mathématiquement égale à 1,0, et l'exigence du Tableau A7-3 concernant la pente sera respectée par définition.
- **Note 2.—** À cause des incertitudes à prévoir dans la reproductibilité des teneurs en EC obtenues par la méthode TOT, une répétition du processus ci-dessus par le même laboratoire ou par un laboratoire différent peut produire une pente différente sans aucun changement dans la réaction de l'instrument. Les spécifications de précision du Tableau A7-3 sont destinées à tenir compte d'une telle variabilité.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 156 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

5.6 Avant chaque étalonnage annuel, la performance de chaque instrument de détermination de la masse sera évaluée « en l'état » à une concentration massique en EC de 100 µg/m³ indiquée dans le Tableau A7-5. Cette évaluation permettra la traçabilité par rapport aux évaluations antérieures de l'instrument et elle permettra la comparaison de constantes d'étalonnage existantes et nouvelles.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 157 de 185
Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

SUPPLÉMENT C À L'APPENDICE 7. SPÉCIFICATIONS ET ÉTALONNAGE POUR L'EXTRACTEUR DE PARTICULES VOLATILES ET L'INSTRUMENT DONNANT LE NOMBRE DE nvPM

1. SPÉCIFICATIONS

1.1 Spécifications du VPR

- 1.1.1 Chaque marque et chaque modèle d'extracteur de particules volatiles (VPR) recevront un certificat du fabricant de l'instrument ou d'un autre laboratoire d'essais et d'étalonnage compétent, confirmant qu'ils répondent aux spécifications de performance énoncées dans le présent Supplément.
- 1.1.2 Le facteur de dilution (DF2) du VPR répondra aux exigences suivantes :
 - a) DF2 sera ajusté pour maintenir la concentration en nombre de particules dans le mode de comptage unique du compteur de particules à condensation (CPC) et pour réduire la température de l'échantillon à une plage comprise entre 10 °C et 35 °C à l'entrée dans le CPC.
 - b) La variabilité de DF2 sera inférieure à 10 %.
- 1.1.3 La section chauffée qui fait s'évaporer les substances volatiles sera maintenue à une température de 350 °C ±15 °C.
- 1.1.4 Si le VPR comprend des niveaux chauffés multiples, les contrôles de température supplémentaires seront à ±15 °C des températures opérationnelles spécifiées par son fabricant.
- 1.1.5 Le contrôle de pression de l'échantillon répondra aux exigences suivantes :
 - a) Un dispositif de contrôle de pression permettra d'envoyer au CPC un échantillon dilué dans une plage de ±15 kPa de la pression ambiante (sortie du CPC).
 - b) La pression ne dépassera pas 105 kPa.
- 1.1.6 Les fractions de pénétration de particules du VPR minimales admises pour chaque réglage de la dilution répondront aux spécifications figurant dans le Tableau A7-6.

Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 158 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Tableau A7-6. Fractions de pénétration du VPR minimales admises à quatre diamètres des particules

Diamètre de mobilité électrique des particules, D _m	15nm	30nm	50nm	100nm
Fraction de pénétration minimale, η_{VPR} (D _m)	0,30	0,55	0,65	0,70

- 1.1.7 L'efficacité d'extraction de particules volatiles du VPR (VRE) sera telle que plus de 99,5% des particules de tétracontane [CH₃(CH₂)₃₈CH₃, d'une pureté supérieure à 95%] avec une concentration à l'entrée d'au moins 10 000 particules/cm3 à un diamètre de mobilité électrique de 30 nm sont extraits. Cette VRE sera démontrée lorsque le VPR est utilisé à son réglage de dilution minimum et à la température de fonctionnement recommandée par le fabricant.
- 1.1.8 Si un décapant catalytique est utilisé dans le VPR, le diluant contiendra au moins 10% de O₂.

1.2 Interface VPR — CPC

Le tuyau reliant la sortie du VPR à l'entrée du CPC répondra aux exigences suivantes :

- a) Le matériau sera électriquement conducteur.
- b) Le tuyau aura un diamètre interne supérieur ou égal à 4 mm.
- c) L'échantillon aura une durée de séjour dans le tuyau inférieure ou égale à 0,8 seconde.

1.3 Spécifications du CPC

- 1.3.1 Chaque marque et chaque modèle du CPC recevront un certificat du fabricant de l'instrument ou d'un autre laboratoire d'essais et d'étalonnage compétent, confirmant qu'ils répondent aux spécifications de performance énoncées ci-après.
- 1.3.2 Une fonction de correction de la coïncidence jusqu'à un maximum de 10% sera permise. Cette fonction n'utilisera aucun algorithme pour corriger ou définir l'efficacité du comptage.
- 1.3.3 Le comptage des particules répondra aux exigences suivantes :
 - a) Le mode de comptage sera un mode de comptage unique. L'utilisation du CPC dans le mode photométrique n'est pas autorisée. Ainsi, pour assurer un mode de comptage unique, DF₂ sera augmenté comme il sera nécessaire.
 - b) La précision de comptage sera de ±10% de 2 000 particules/cm³ jusqu'au seuil supérieur du mode de comptage par particule, sur la base d'une norme identifiable (ISO 27891).



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 159 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

- c) L'efficacité du comptage sera supérieure ou égale à 50% à un diamètre de mobilité électrique de 10 nm et supérieure ou égale à 90% à un diamètre de mobilité électrique de 15 nm.
- d) L'efficacité du comptage sera établie en utilisant un aérosol d'huile d'Emery.
- 1.3.4 Le taux d'acquisition de données sera supérieur ou égal à 1,0 Hz pour un intervalle minimum de 30 secondes une fois le moteur stabilisé.
- 1.3.5 La concentration en nombre de particules sera communiquée en particules/cm3 aux conditions STP. Si la valeur communiquée n'est pas aux conditions STP, la pression absolue à l'entrée du CPC sera mesurée avec une précision supérieure à 2 %, de sorte que la concentration en nombre pourra être corrigée pour répondre aux conditions STP, selon les directives du fabricant.
- 1.3.6 La résolution sera supérieure à 0,1 particule/cm3 aux concentrations inférieures à 100 particules/cm³.
- 1.3.7 Le temps de montée sera inférieur à 4 secondes.
- 1.3.8 Le flux d'échantillon sera à plein débit. Aucune séparation interne du flux n'est autorisée.
- 1.3.9 Le fluide de travail sera le n-butanol.
- 1.3.10 La réponse sera linéaire.

1.4 Exigence du système

Le t₉₀ depuis l'entrée du VPR à travers tout le CPC sera inférieur ou égal à 10 secondes.

2. ÉTALONNAGE

2.1 VPR

Le VPR doit être validé « en l'état » à un seul réglage de DF₂, typique de celui qui est utilisé pour les mesures sur les turboréacteurs d'aéronefs, avant chaque étalonnage. Cette validation doit inclure le facteur de dilution du VPR au réglage DF₂ choisi, la détermination des fractions de pénétration et la VFR.

- 2.1.1 L'étalonnage du DF₂ répondra aux exigences suivantes :
 - a) Le DF₂ sera étalonné à chaque réglage de dilution du VPR, comme défini par le fabricant du VPR.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 160 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

- b) l'étalonnage de DF₂ sera effectué par un laboratoire compétent, utilisant soit des gaz à l'état de traces tels que le CO2, soit des mesures de débit.
- 2.1.2 L'étalonnage des fractions de pénétration de particules dans le VPR répondra aux exigences suivantes :
 - a) Les fractions de pénétration de particules dans le VPR seront mesurées à 350°C avec des particules solides de 15 nm, 30 nm, 50 nm et 100 nm de diamètre de mobilité électrique pour chaque réglage de dilution du VPR. Un minimum de 5000 particules/cm³ pour les quatre tailles de particules sera fourni au VPR. Si de la suie est utilisée pour obtenir les particules, un dispositif de prétraitement thermique chauffé à 350°C pourra être nécessaire pour fournir seulement des nvPM au VPR.
 - b) Les concentrations en particules seront mesurées en amont et en aval du VPR avec un CPC ayant au moins 90 % d'efficacité de comptage pour des particules d'un diamètre de mobilité électrique supérieur ou égal à 15 nm.
 - c) Les fractions de pénétration dans le VPR seront déterminées comme suit :

$$\eta_{\text{VPR}}(D_m) = \frac{DF_2 \times N_{out}(D_m)}{N_{in}(D_m)}$$

Où

 $N_{\text{in}}(D_{\text{m}})$ est la concentration en nombre de particules en amont pour les particules de D_{m} ;

 $N_{\text{out}}(D_m)$ est la concentration en nombre de particules en aval pour les particules de Dm ;

- d) $N_{in}(D_m)$ et $N_{out}(D_m)$ seront rapportés aux mêmes conditions de T et de P.
- e) le VPR sera étalonné comme unité complète.

2.1.3 VRE du VPR

a) La VRE sera déterminée avec un CPC ayant une efficacité de comptage d'au moins 90
 % pour des particules d'un diamètre de mobilité électrique supérieur ou égal à 15 nm, comme suit :

$$\text{VRE}\;(D_{30}) \!\!=\!\! 100 \times \left[1 - \! \frac{DF_2\; \times N_{\mathbf{out}}(D_{30})}{N_{\mathbf{in}}(D_{30})}\right]$$



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 161 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Оù

VRE(D₃₀) est la VRE pour particules de D₃₀;

 $N_{in}(D_{30})$ est la concentration en nombre de particules en amont pour des particules de D_{30} ;

 $N_{out}(D_{30})$ est la concentration en nombre de particules en aval pour des particules de D_{30} ;

D₃₀ est le diamètre de mobilité électrique des particules.

b) N_{in}(D₃₀) et N_{out}(D₃₀) seront rapportés aux mêmes conditions de T et de P.

2.2 Étalonnage du CPC

- 2.2.1 L'étalonnage du CPC doit être conforme à une méthode d'étalonnage standard (ISO 27891) : par comparaison de la réponse du CPC sous étalonnage avec celle d'un électromètre d'aérosols étalonné, lorsque des particules d'étalonnage classées électrostatiquement sont étalonnées simultanément.
- 2.2.2 le CPC sera validé « en l'état » avant chaque étalonnage.
- 2.2.3 L'étalonnage et la validation seront effectués selon les procédures décrites ci-dessous :
 - a) L'efficacité de détection du CPC sera étalonnée avec des particules d'un diamètre de mobilité électrique de 10 et de 15 nm. Le CPC aura une efficacité de comptage supérieure ou égale à 50 % à 10 nm et supérieure ou égale à 90 % à 15 nm.
 - b) L'aérosol d'étalonnage sera l'huile d'Emery.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 162 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

SUPPLÉMENT D À L'APPENDICE 7. SPÉCIFICATIONS POUR LES DONNÉES SUPPLÉMENTAIRES

Comme exigé à la section 3.2 de l'Appendice 7, les données mentionnées dans les Tableaux A7-7 et A7-8 seront fournies.

Tableau A7-7. Exigences concernant les nvPM dans l'air ambiant

Données requises	Unités
Concentration massique de nvPM dans l'air ambiant (nvPMmass STP)	μg/m3
Concentration en nombre de nvPM dans l'air ambiant (DF2 × nvPMnum STP)	particules/cm3

Tableau A7-8. Système d'échantillonnage des nvPM et exigences de paramètres de mesure

Paramètre	Unité
Température à l'entrée de la sonde (T _{engine_exit})	°C
(Équivalent à la température T _{EGT} des gaz d'échappement à la sortie du moteur	
prédite par un modèle de performance)	
Température mesurée à l'entrée du dilueur 1 (T ₁)	°C
Débits	slpm
(mesurés : section 3 et section 4 ; estimation pratique : section 1, section 2)	
Diamètres intérieurs de la tuyauterie des sections 1 à 4	mm
Longueurs des sections 1 à 4	m
Températures de la paroi de la tuyauterie des sections 1 à 4	°C
Angle total de courbure(s) de la tuyauterie de prélèvement, section 1	degrés
Coupure à D50 dans le séparateur cyclonique (spécification du fabricant)	nm
Précision du séparateur cyclonique (spécification du fabricant)	fraction décimale
Quatre valeurs de pénétration dans le dilueur (Supplément A, Tableau A7-2)	fraction décimale
Quatre valeurs de pénétration pour étalonnage du VPR (Supplément C, Tableau	fraction décimale
A7-6)	
Deux efficacités de comptage pour étalonnage du CPC	fraction décimale
Facteur de première dilution, DF ₁	
Facteur de seconde dilution (VPR), DF ₂	
Concentration massique de particules corrigée pour DF ₁ : DF ₁ x nvPM _{mass STP}	μg/m3
Concentration en nombre de particules corrigée pour DF ₁ et DF ₂ : DF ₁ × DF ₂ ×	Particules/cm3
nvPM _{num STP}	



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 163 de 185 Révision: 00 Date: 01/04/2020

SUPPLÉMENT E À L'APPENDICE 7. PROCÉDURES POUR LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME

1. CONTRÔLE DES FUITES DANS LA PARTIE COLLECTE ET LA CONDUITE DE GAZ

1.1 Procédure de contrôle des fuites

Avant une série d'essais moteurs, il doit être procédé à la détection de fuites sur la partie Collecte et la GL selon la procédure suivante :

- a) Isoler la GL de la partie Mesure des nvPM en utilisant la soupape d'isolement 1, la soupape de contrôle de pression P1 et, si installée, la soupape de fermeture optionnelle.
- b) Isoler la sonde et les analyseurs.
- c) Relier et faire fonctionner une pompe à vide pour vérifier le débit de fuite.
- d) La pompe à vide aura une tenue au vide en l'absence de débit de -75 kPa par rapport à la pression atmosphérique; son plein débit ne sera pas inférieur à 28 L/min à température et pression normales.

1.2 Exigence de contrôle des fuites

Le débit de fuite doit être inférieur à 0,4 slpm.

2. CONTRÔLE DE LA PROPRETÉ DANS LA PARTIE COLLECTE ET LA CONDUITE DE **GAZ**

2.1 Procédure de contrôle de la propreté

La propreté de la partie Collecte et de la GL doit être contrôlée selon la procédure suivante :

- a) Isoler la GL de la partie Mesure des nvPM en utilisant la soupape d'isolement 1 et la soupape de contrôle de pression P1.
- b) Isoler la GL de la sonde et relier l'extrémité de la tuyauterie d'échantillonnage à une source de gaz zéro.
- c) Chauffer le système jusqu'à la température de fonctionnement nécessaire pour effectuer les mesures de HC.
- d) Faire fonctionner la pompe de prélèvement d'échantillons et régler le débit sur celui qui est utilisé pendant les tests d'émission du moteur.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 164 de 185 Révision: 00 Date: 01/04/2020

e) Enregistrer les lectures de l'analyseur de HC.

2.2 Exigence de contrôle de la propreté

- 2.2.1 La lecture des HC ne dépassera pas la plus grande des deux valeurs, soit 1 % du niveau d'émission à vide du moteur, soit 1 ppm (les deux exprimés comme C).
- 2.2.2 La qualité de l'air à l'admission sera surveillée, au début et à la fin d'un essai moteur et au moins une fois par heure pendant un essai. Si les niveaux de HC sont considérés significatifs, il sera tenu compte.

3. CONTRÔLE DE LA PROPRETÉ/DES FUITES DANS LA PARTIE ACHEMINEMENT

Note 1.— Les contrôles de la propreté peuvent échouer du fait d'éléments souillés dans la partie Acheminement ou de fuites dans les parties Acheminement et/ou Mesure.

Note 2.— Une fuite dans le système aura pour résultat que des particules se trouvant dans l'air ambiant y seront aspirées.

3.1 Procédure de contrôle de la propreté/des fuites

- 3.1.1 Avant une série d'essais moteur, il sera procédé à un contrôle de la propreté et des fuites dans la partie Acheminement selon la procédure suivante :
 - a) Faire couler le diluant filtré à travers le dilueur 1 avec la soupape d'isolement 1 fermée.
 - b) Les débits dans chaque trajet du diviseur 2 seront égaux à ceux qui sont utilisés pendant les essais moteur.
 - c) Régler le DF₂ au réglage le plus bas du VPR.
- 3.1.2 Lorsque la masse de nvPM mesurée et les concentrations en nombre sont stables, enregistrer les données pendant 30 secondes au minimum.

Note.— Le schéma de flux de la procédure de contrôle de propreté de la partie Acheminement est présenté sur la Figure A7-4.

3.2 Exigence de vérification de propreté/fuites

- 3.2.1 La moyenne sur 30 secondes de la concentration massigue de nvPM (nvPM_{mass STP}) sera inférieure à 1 µg/m³.
- 3.2.2 La moyenne sur 30 secondes de la concentration en nombre de nvPM (nvPM_{num STP}) sera inférieure à 2,0 particules/cm³.
- 3.2.3 Si le contrôle de la propreté échoue, le système sera d'abord inspecté pour les fuites.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 165 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

Si l'on ne détecte pas de fuites, le réservoir de prélèvement du séparateur cyclonique doit être inspecté et nettoyé. Si le contrôle de la propreté échoue encore, les segments du système de prélèvement seront nettoyés ou si nécessaire remplacés.

4. RÉTRO-PURGE DANS LA PARTIE COLLECTE

Pour maintenir les sondes et les tuyauteries de prélèvement exemptes de carburant non brûlé, il doit être procédé à une rétro-purge dans la section 1 pendant le démarrage et l'arrêt du moteur, comme le montre la Figure A7-5.

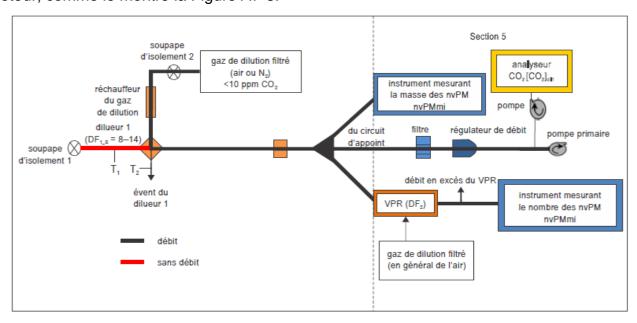


Figure A7-4. Schéma de flux pour le contrôle de propreté de la partie Acheminement

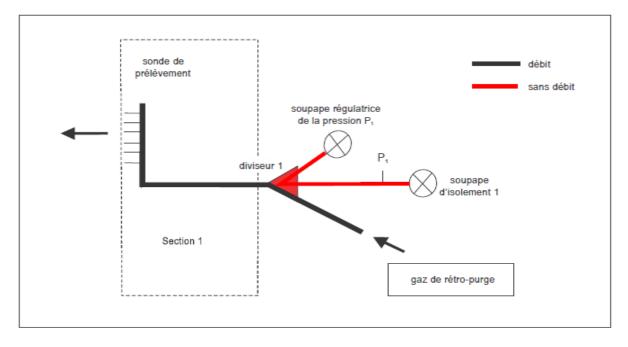


Figure A7-5. Schéma de flux pour la rétro-purge dans la section 1



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 166 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

5. MESURE DE nvPM DANS L'AIR AMBIANT

5.1 Généralités

- 5.1.1 Les concentrations ambiantes en masse et en nombre de nvPM représentatives de l'admission d'air à l'entrée du moteur seront obtenues avant et après un essai moteur et seront communiquées comme la moyenne de ces deux mesures.
- 5.1.2 Pour une cellule d'essai en site fermé, afin de réaliser la représentativité, les mesures de particules dans l'air ambiant seront obtenues pendant que le moteur est en fonctionnement. La première mesure dans l'air ambiant doit être obtenue cinq minutes au minimum après le démarrage du moteur.

5.2 Procédure de prélèvement de nvPM dans l'air ambiant

Les concentrations en masse et en nombre de nvPM dans l'air ambiant représentatives de l'air d'admission à l'entrée du moteur seront prélevées par une des deux méthodes suivantes ;

5.2.1 Méthode 1 — Prélèvement à travers la fente du dilueur 1

Le système de prélèvement et de mesure des nvPM sera utilisé pour le prélèvement à travers l'évent du dilueur 1.

Lors du prélèvement à travers l'évent du dilueur 1, il sera procédé comme suit :

- a) Arrêter l'apport de fluide de dilution au dilueur 1 en fermant la soupape d'isolement 2 et s'assurer que la soupape d'isolement 1 est fermée.
- b) Protéger de la surchauffe le réchauffeur de diluant lorsque le débit de diluant est arrêté.
- c) S'assurer que les débits dans chaque trajet d'écoulement du séparateur 2 sont égaux aux débits à utiliser pendant les essais moteur.
- d) Lorsque les concentrations en masse et en nombre de nvPM mesurées sont stables, enregistrer les données pendant trois minutes au minimum.

Note.— Le schéma de flux de la procédure de mesure de nvPM dans l'air ambiant est présenté sur la Figure A7-6.

Cette configuration sera utilisée seulement si l'emplacement de l'échappement est représentatif de l'entrée d'air dans le moteur.

- 5.2.2 Méthode 2 Système supplémentaire de mesure des nvPM
- 5.2.2.1 Un système supplémentaire de prélèvement et de mesure des nvPM dans l'air

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 167 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

ambiant répondra aux exigences suivantes :

- a) Le système de prélèvement de nvPM dans l'air ambiant sera conforme aux spécifications du système de prélèvement figurant dans les sections 3 et 4 du Supplément A au présent Appendice.
- b) Le nvPMmi, le VPR et le nvPMni seront conformes aux Suppléments B et C au présent Appendice.
- c) L'entrée dans le système de prélèvement de nvPM dans l'air ambiant sera située dans une plage de 50 m de l'entrée d'air du moteur.

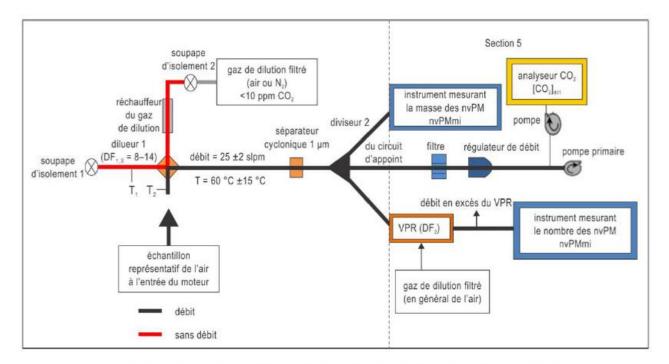


Figure A7-6. Schéma de flux pour la mesure des particules dans l'air ambiant

- 5.2.2.2 Lors du prélèvement avec un système supplémentaire de prélèvement et de mesure des nvPM, il sera procédé comme suit :
 - a) S'assurer que les débits dans chaque trajet du séparateur 2 sont égaux aux débits à utiliser pendant les essais moteur.
 - b) Lorsque les concentrations mesurées de nvPM, en masse et en nombre, sont stables, enregistrer les données pendant trois minutes au minimum.

5.3 Exigence de mesure des particules dans l'air ambiant

5.3.1 Il sera rendu compte de la moyenne sur trois minutes de la concentration massique de nvPM (nvPM_{mass_STP}) et de la concentration en nombre de nvPM corrigées pour DF₂ (DF₂ × nvPM_{num_STP}).



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 168 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

Note.— Le niveau de concentration massique de nvPM dans l'air ambiant peut être inférieur à la limite de détection (LOD) du nvPMmi.

- 5.3.2 la valeur moyenne de la concentration de nvPMni corrigée pour DF₂ sera supérieure à dix fois la valeur mesurée pour le contrôle de propreté. Si ce contrôle échoue, le fonctionnement du système sera vérifié (positions des soupapes, débits, pressions et températures) et la mesure sera répétée.
- 5.3.3 Si les niveaux de nvPM dans l'air ambiant sont considérés significatifs, il sera tenu compte.

6. CONTRÔLE DE L'ÉTALONNAGE DES FACTEURS DE DILUTION DU VPR

- 6.1 Les facteurs de dilution du VPR (DF2), attendus pendant l'essai moteur, seront vérifiés en utilisant la configuration suivante :
 - a) un analyseur de gaz CO2 conforme au Supplément B à l'Appendice 3 ;
 - b) un gaz CO₂ à haute concentration d'une pureté de 2,0 (supérieure à 99,0%) CO₂ ;

Note.— Des éléments indicatifs figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II —Procédures de certification-émissions des moteurs d'aviation.

- c) relier l'analyseur de gaz CO₂ à la sortie du VPR avec un raccord en T pour éviter une surpressurisation de l'échantillon de CO₂;
- d) relier le gaz à haute concentration de CO₂ à l'entrée du VPR en utilisant un raccord en T et un régulateur de débit pour assurer une pression à l'entrée du VPR semblable à celle de l'essai moteur ;
- e) permettre que l'échantillon à l'entrée du VPR ait le même débit et la même pression que ceux utilisés pendant un essai moteur.

Note.— Le schéma de flux pour le contrôle du facteur de dilution du CPR est représenté à la Figure A7-7.

- 6.2Le facteur de dilution du VPR (DF₂) sera contrôlé selon la procédure suivante :
 - a) réchauffer le VPR et s'assurer d'atteindre les températures de fonctionnement ;
 - b) vérifier que l'entrée du VPR aspire l'échantillon ;
 - c) réchauffer l'analyseur de CO₂ de façon correspondante et se préparer à l'enregistrement des données ;
 - d) appliquer à l'analyseur de CO₂ un gaz approprié à étalonnage zéro et faire tous les ajustements nécessaires de l'instrument ;



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 169 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

- e) appliquer un gaz d'étalonnage approprié à une concentration nominale de 90 % de la FS à l'analyseur de CO₂ pour couvrir l'éventail à utiliser, et ajuster et enregistrer en conséquence les réglages de gain ;
- f) assurer un flux d'échantillon suffisant vers l'analyseur de CO₂ (une pompe peut être nécessaire en amont de l'analyseur de CO₂);
- g) acheminer le gaz CO₂ à haute concentration jusqu'à l'entrée du VPR, en veillant à ce qu'il y ait un flux excédentaire à la soupape en amont de l'entrée du VPR;
- h) régler le VPR sur un réglage du facteur de dilution ;
- i) ajuster la soupape de contrôle du débit à l'entrée du VPR, en créant une chute de pression pour simuler la pression sous-ambiante de l'échantillon à l'entrée du VPR pendant une opération de mesure du nvPMni lors d'un essai moteur;
- j) échantillonner le flux de sortie du VPR avec l'analyseur de gaz CO2;
- k) lorsque la lecture de l'analyseur de gaz CO₂ est stable, enregistrer un minimum de sept points de données de concentration de CO₂ en une période de trois minutes et calculer la moyenne;
- I) Calculer la valeur DF₂ moyenne en fonction de la moyenne des mesures de CO₂ et de la concentration certifiée en gaz CO₂;
- m) répéter les alinéas h) à l) ci-dessus pour chaque réglage de dilution du VPR à utiliser pendant un essai moteur.
- 6.3Les valeurs moyennes de DF₂ calculées seront comparées aux résultats d'un étalonnage par un laboratoire compétent.

Si la différence est :

- a) inférieure ou égale à ±10 %, les valeurs de DF2 provenant de l'étalonnage par un laboratoire compétent seront utilisées ;
- b) supérieure à ±10 %, les valeurs de DF2 du VPR seront redéterminées à partir de l'étalonnage par un laboratoire compétent.

Note.— Des éléments indicatifs sur l'utilisation d'une procédure équivalente figurent dans le Manuel technique environnemental (Doc 9501), Volume II — Procédures de certification - émissions des moteurs d'aviation.

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 170 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

forte
concentration
de gaz CO₂

gaz de dilution filtré
(air ou N₂)
<10 ppm CO₂

Figure A7-7. Dispositif de contrôle du facteur de dilution du VPR



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 171 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

APPENDICE 8. PROCÉDURES POUR ESTIMER LES CORRECTIONS DE PERTES DE PARTICULES NON VOLATILES nvPM DANS LE SYSTÈME

Note 1.— Les procédures spécifiées dans cet Appendice concernent la détermination de facteurs de correction pour les pertes dans le système de prélèvement et de mesure des particules non volatiles (nvPM), à l'exclusion des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte, qui figurent dans la communication de données de l'Appendice 7.

Note 2.— La mise en œuvre du système de prélèvement et de mesure des nvPM exige une longue tuyauterie de prélèvement, pouvant atteindre 35 m, et comprend plusieurs éléments de ce système, ce qui peut avoir pour résultat une perte de particules significative de l'ordre de 50 % pour la masse et de 90 % pour le nombre de nvPM. Les pertes de particules dépendent de la taille et dépendent donc de l'état de fonctionnement du moteur, de la technologie de la chambre de combustion et éventuellement d'autres facteurs. Les procédures spécifiées dans le présent Appendice permettent une estimation des pertes de particules.

Note 3.— Les facteurs de correction de pertes dans le système sont estimés sur la base des suppositions suivantes : les nvPM au plan d'échappement du moteur ont une distribution lognormale, une valeur constante de la densité effective de nvPM, une valeur fixée de l'écart type géométrique, limitant la concentration massique de nvPM à la limite de détection, une taille limite minimum des particules de 0,01µm et pas de coagulation.

Note 4.— La méthode proposée dans cet Appendice utilise des données et des mesures spécifiées dans l'Appendice 7 et ses Suppléments. Les symboles et définitions ne figurant pas dans le présent Appendice figurent dans l'Appendice 7 et ses Suppléments.

1. GÉNÉRALITÉS

- 1.1 Au sein du système de prélèvement et de mesure des nvPM, des mécanismes de dépôt entraînent la perte de particules sur les parois du système de prélèvement. Ces pertes sont à la fois dépendantes et indépendantes de la taille. Les pertes thermophorétiques dans la partie Collecte, indépendantes de la taille, sont spécifiées dans la section 6.2 de l'Appendice 7.
- 1.2La perte globale de particules dans le système de prélèvement et de mesure des nvPM à l'exclusion des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte est dite perte dans le système.
- 1.3 Il faut tenir compte de la répartition en taille des nvPM parce que les mécanismes de perte dépendent de la taille des particules. Ces pertes dépendant de la taille des particules sont quantifiées en fonction de la fraction de particules d'une taille donnée qui pénètrent dans le système de prélèvement.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 172 de 185 Révision: იი Date: **0**1/04/2020

2. DÉFINITIONS, SIGLES ET SYMBOLES

2.1 Définitions

Les expressions suivantes, employées dans le présent appendice, ont les significations qui leur sont assignées ci-dessous :

Concentration en nombre de particules : Nombre de particules par unité de volume d'échantillon.

Concentration massique de particules : Masse de particules par unité de volume d'échantillon.

Diamètre aérodynamique d'une particule: Diamètre d'une sphère équivalente de densité unitaire ayant la même vitesse de sédimentation que la particule considérée, appelé aussi « diamètre aérodynamique classique ».

Diamètre de mobilité électrique d'une particule : Diamètre d'une sphère qui se déplace avec exactement la même mobilité dans un champ électrique que la particule concernée.

Distribution granulométrique des particules : Une liste de valeurs ou fonction mathématique qui représente la concentration en nombre des particules en fonction de leur taille.

Fraction de pénétration : Rapport entre la concentration de particules en aval et en amont d'un élément d'un système de prélèvement.

Indice d'émission en nombre de particules : Nombre de particules par unité de masse du carburant utilisé.

Indice d'émission massique de particules : Masse des particules émises par unité de masse du carburant utilisé.

Laboratoire compétent : Laboratoire d'essai et d'étalonnage qui établit, met en œuvre et tient à jour un système qualité approprié à son domaine d'activité, en conformité avec la norme ISO/IEC 17025:2005, modifiée périodiquement, ou une norme équivalente, et pour lequel le programme d'étalonnage de l'équipement est conçu et appliqué de manière à assurer que les étalonnages et les mesures effectués par le laboratoire soient traçables au Système international d'unités (SI). L'accréditation officielle du laboratoire au titre de la norme ISO/IEC 17025:2005 n'est pas requise.

Particules non volatiles (nvPM): Particules émises présentes dans le plan de sortie de la tuyère d'échappement d'un moteur à turbine à gaz, qui ne se volatilisent pas lorsqu'elles sont chauffées à une température de 350° C.

Perte de particules : Perte de particules durant le passage dans un système de prélèvement. Cette perte est due aux différents mécanismes de dépôt, dont certains sont fonction de la taille.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 173 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Séparateur cyclonique : Séparation par rotation ou par gravité des particules d'une taille supérieure à un diamètre aérodynamique prescrit. Le diamètre aérodynamique de coupure spécifié est lié au pourcentage de particules d'une taille donnée qui pénètrent dans le séparateur cyclonique.

2.2 Sigles

CPC compteur de particules à condensation

nvPMmi instrument mesurant la masse des particules non volatiles

nvPMni instrument mesurant le nombre de particules non volatiles

nvPM particules non volatiles (voir la définition)

Slpm litres standard par minute (litres par minute dans les conditions STP)

STP conditions de mesure à une température de référence de 0 °C et une pression

de référence de 101,325 kPa

VPR extracteur de particules volatiles



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 174 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

2.3 Symboles

Symbole	Unité	Signification
antilog	_	Antilogarithme de base 10.
C(k)	dB	Correction de son pur. Facteur à ajouter à $PNL(k)$ pour tenir compte de la présence d'irrégularités spectrales, telles que les sons purs au k^{μ} intervalle de temps.
d	5	$Dur\acute{e}e$. Quantité utile de la durée du bruit mesurée par l'intervalle de temps entre les limites $t(1)$ et $t(2)$ arrondies à la seconde la plus proche.
D	dB	Correction de durée. Facteur à ajouter à PNLTM pour tenir compte de la durée du bruit.
EPNL	EPNdB	Niveau effectif de bruit perçu. Valeur de PNL corrigée pour tenir compte de la présence d'irrégularités spectrales et de la durée du bruit. (On utilise comme unité EPNdB au lieu du dB.)
f(i)	Hz	Fréquence. Moyenne géométrique des fréquences de la i^e bande de tiers d'octave.
F(i,k)	dB	ΔdB . Différence entre le niveau de pression acoustique original et le niveau final de pression acoustique du bruit de fond dans la i^e bande de tiers d'octave au k^e intervalle de temps.
h	dB	Niveau qui retranché du PNLTM définit la durée du bruit.
H	%	Humidité relative. Humidité relative de l'atmosphère ambiante.
i	_	Indice de bande de fréquence. Indice numérique qui désigne l'une des 24 bandes de tiers d'octave dont la moyenne géométrique des fréquences va de 50 Hz à 10 000 Hz.
k	-	Indice d'intervalle de temps. Indice numérique qui désigne le nombre d'intervalles de temps égaux qui se sont écoulés depuis le temps de référence zéro.
log	_	Logarithme de base 10.
$\log n(a)$	_	Abscisse de discontinuité de bruyance. Valeur de $\log n$ au point d'intersection des droites représentant la variation de SPL en fonction de $\log n$.
M(b), $M(c)$, etc.	_	Pente inverse de brayance. Valeur inverse des pentes des droites représentant la variation de SPL en fonction de $\log n$.
n	noy	Bruyance perçue. Bruyance perçue à un instant donné dans une gamme de fréquences spécifiée.
n(i,k)	noy	Bruyance perçue. Bruyance perçue au k^e instant dans la t^e bande de tiers d'octave.
n(k)	noy	Bruyance maximale perçue. Désigne la plus grande des 24 valeurs de $n(i)$ au k^c instant.
N(k)	noy	Bruyance totale perçue. Bruyance totale perçue au k^c instant, calculée d'après les 24 valeurs instantanées de $n(i,k)$.



RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Page: 175 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

$nvPM_{mass_EP}$	estimation de la concentration massique de nvPM à la tuyère d'échappement du moteur, spécifiée dans la section 4 du présent Appendice, non corrigée des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte
$nvPM_{num_EP}$	estimation de la concentration en nombre de nvPM à la tuyère d'échappement du moteur, spécifiée dans la section 4 du présent Appendice, non corrigée des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte
$nvPM_{mass_STP}$	concentration massique de nvPM, après dilution, mesurée par un instrument dans les conditions STP, $\mu g/m^3$
${\tt nvPM}_{\tt num_STP}$	concentration en nombre de nvPM, après dilution, mesurée par un instrument dans les conditions STP, en nombre/cm 3
$\eta_{mass}(D_m)$	fraction globale de pénétration dans le système de prélèvement et de mesure pour le $nvPMmi$ sans pertes thermophorétiques dans la partie Collecte à la taille de mobilité électrique des particules, D_m
$\eta_{\text{num}}(D_m)$	fraction globale de pénétration dans le système de prélèvement et de mesure pour le nvPMni sans pertes thermophorétiques dans la partie Collecte à la taille de mobilité électrique des particules, D_m
$\eta i(D_m)$	fraction de pénétration pour le $i^{\rm e}$ élément du système de prélèvement et de mesure
$\eta bi(D_m)$	fraction de pénétration pour le coude de la tuyauterie de prélèvement, pour le i° élément du système de prélèvement et de mesure
ρ	densité effective supposée de nvPM, g/cm³
σ_{g}	écart géométrique standard supposé de la distribution log-normale
\mathbf{Q}_{i}	flux de gaz porteur dans le i° segment de la tuyauterie de prélèvement, slpm
Re	$\frac{2 \times \rho_{gas} \times Q_{I}}{3 \times m \times \mu \times I D_{tI}}$, nombre de Reynolds du gaz porteur
T_i	température du gaz porteur dans le i° segment de la tuyauterie de prélèvement, en °C

3. FACTEURS DE CORRECTION POUR LES EI EN MASSE ET EN NOMBRE DE nVPM

3.1Le facteur de correction Elmass des pertes dans le système est le rapport entre la concentration massique estimée au plan de sortie de la tuyère d'échappement du moteur, sans correction des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte, et la concentration massique mesurée ; il sera calculé comme suit :

$$k_{SL_mass} = \frac{nvPM_{mass_EP}}{DF_1 \times nvPM_{mass_STP}}$$

3.2Le facteur de correction El_{num} des pertes dans le système est le rapport entre la concentration en nombre estimée au plan de sortie de la tuyère d'échappement du moteur, sans correction des pertes thermophorétiques dans la partie Collecte, et la concentration en nombre mesurée ; il sera calculé comme suit :



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 176 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

$$k_{SL_num} = \frac{nvPM_{num_EP}}{DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}}$$

4. PROCÉDURE POUR ESTIMER LES CONCENTRATIONS EN MASSE ET EN NOMBRE À LA TUYÈRE D'ÉCHAPPEMENT DU MOTEUR, CORRIGÉES POUR PERTES DANS LE SYSTÈME

- 4.1La masse (nvPM_{mass_EP}) et le nombre (nvPM_{num_EP}) au plan de sortie de la tuyère d'échappement du moteur sont déterminés selon la procédure suivante :
 - a) Pour une $nvPM_{num_STP}$ mesurée, commencer par une valeur initiale de $nvPM_{num_EP} = 3xDF_1xDF_2x$ $nvPM_{num_STP}$.
 - b) Une valeur initiale de 0,02µm doit être supposée pour le diamètre moyen géométrique, Dmg, de la distribution log-normale de la taille des particules.
 - c) En commençant par les valeurs supposées initiales de nvPM_{num_EP} et de D_{mg} provenant des alinéas a) et b), estimer les concentrations de nvPM en masse (nvPM_{mass_EST}) et en nombre (nvPM_{num_EST}), en utilisant les équations suivantes :

$$nvPM_{mass_EST} = \sum_{D_{\rm m}=0,1\mu m}^{1\mu m} \eta_{mass}({\rm D_m}) \times \frac{\rho\pi {\rm D_m^3}}{6} \times nvPM_{num_EP} \times f_{lgn}({\rm D_m}) \times \Delta \ln({\rm D_m})$$

$$nvPM_{num_EST} = \sum_{D_m = 0.01 \mu m}^{1 \mu m} \eta_{num}(D_m) \times nvPM_{num_EP} \times f_{lgn}(D_m) \times \Delta \ln(D_m)$$

оù :

$$f_{lgn}(D_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \, \ln(\sigma_g)} \times e^{-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln(D_m) - \ln(D_{mg})}{\ln(\sigma_g)} \right\}^2}$$

 $\Delta ln(D_m) = \frac{1}{n} \times \frac{1}{log_{10}(e)}$, est la largeur d'un intervalle (size bin) dans le logarithme naturel de base ; e est le nombre d'Euler et n est le nombre d'intervalles de particules, par décade

d) Déterminer la différence, δ , entre nvPM_{num_STP}, nvPM_{mass_STP} et les estimations de concentration en nombre de nvPM (nvPM_{num_EST}) et de concentration massique de nvPM (nvPM_{mass_EST}) à partir des valeurs initiales au plan de sortie de la tuyère d'échappement du moteur, en utilisant l'équation :

$$\delta = \left(\frac{DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP} - nvPM_{num_EST}}{DF_1 \times DF_2 \times nvPM_{num_STP}}\right)^2 + \left(\frac{DF_1 \times nvPM_{mass_STP} - nvPM_{mass_EST}}{DF_1 \times nvPM_{mass_STP}}\right)^2$$

REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE CENTRAFRIQUE Autorité Nationale de l'Aviation Civile

RAC 16 - PARTIE 2

PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT -

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

 Page:
 177 de 185

 Révision:
 00

 Date:
 01/04/2020

- e) Répéter les étapes c) à d) en faisant varier $nvPM_{num_EP}$ et D_{mg} jusquà ce que δ soit inférieure à 1×10^{-9} .
- f) Une fois que δ est inférieur à 1×10⁻⁹, les valeurs finales de nvPM_{num_EP} et de D_{mg} sont associées à cette valeur de δ réduite au minimum.
- g) En utilisant nvPM_{num_EP} et D_{mg} à partir de l'étape f), nvPM_{mass_EP} sera déterminé en utilisant l'expression suivante :
- 4.2 Un total de 80 tailles distinctes sera utiliser dans l'éventail de taille des particules allant de 0,003 μ m à 1 μ m. Dans ce cas le nombre d'intervalles par décade, n, est 32 [voir cidessus la définition pour $\Delta ln(D_m)$]. Dans les équations ci-dessus, les sommes commencent à 0,01 μ m
- 4.3La densité effective nvPM sera une constante et elle est égale à 1 g/cm3 pour toutes les tailles de particules.
- 4.4L'écart géométrique standard de la répartition en nombre des particules est égal à 1,8.
- **Note 1.—** Le schéma de la Figure A8-1 représente cette procédure.
- **Note 2.—** Si nvPM_{mass_STP} est inférieur à 1 μg/m3, une valeur minimum de 1 μg/m3 devrait être utilisée pour que la procédure converge.
- **Note 3.—** La procédure décrite à la section 3 peut être résolue en utilisant des logiciels disponibles dans le commerce.
- **Note 4.—** Les unités pour D_m sont en μm , ce qui est différent des valeurs présentées dans les tableaux dans l'Appendice 7.

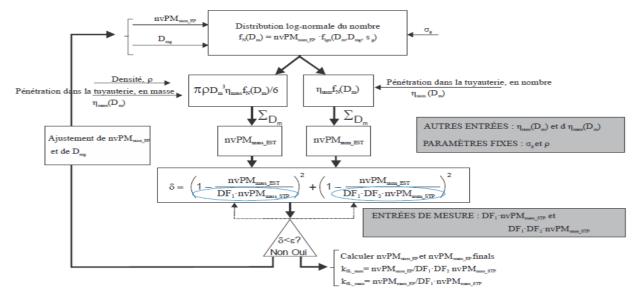


Figure A8-1. Méthode itérative pour le calcul des nvPM en masse et en nombre, avec correction pour pertes autres que celles dues à la thermophorèse dans la partie Collecte



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

178 de 185 Page: Révision: 00

Date: 01/04/2020

5. ENSEMBLE DES FRACTIONS DE PÉNÉTRATION DANS LE SYSTÈME

Note 1.— Les fractions de pénétration de particules sont différentes entre la mesure de concentration massique de nvPM et la mesure de concentration en nombre de nvPM à cause de la différence dans les trajets du flux d'échantillon après le diviseur 2.

Note 2.— Les fractions de pénétration peuvent changer entre les points de mesure correspondant à différents états de fonctionnement du moteur à cause de variations dans la répartition de la taille des particules.

Note 3.— Là où des fonctions continues sont calculées pour estimer des fractions de pénétration ou l'efficacité du comptage du CPC, il convient de veiller à ce qu'elles ne tombent pas endessous de zéro.

5.1 Fraction de pénétration dans le système de la masse de nvPM

La fraction de pénétration globale de la masse de nvPM, pour 80 tailles de particules (Dm) distinctes de 0,003 µm à 1 µm, doit être calculée en combinant les fractions de pénétration des éléments du système :

$$\eta_{\text{mass}}(D_{\text{m}}) = \eta_{\text{1}} x \eta_{\text{b1}} x \eta_{\text{2}} x \eta_{\text{b2}} x \eta_{\text{3}} x \eta_{\text{b3}} x \eta_{\text{cyc}} x \eta_{\text{4}} x \eta_{\text{b4}} x \eta_{\text{5}} x \eta_{\text{b5}} x \eta_{\text{th_m}}$$

Où n avec indices se rapporte aux fractions de pénétration de chacun des éléments du système de prélèvement et de mesure des nvPM définies dans le Tableau A8-1. Les procédures pour estimer les fractions de pénétration de chaque élément sont définies dans la section 6 du présent Supplément.

Note.— En fonction de la géométrie précise du système de prélèvement de nvPM, il peut y avoir davantage d'éléments du système de prélèvement et de mesure de nvPM décrits individuellement que ce qui est décrit dans le Tableau A8-1.

5.2 Fraction de pénétration dans le système du nombre de nvPM

La fraction de pénétration globale pour le nombre de nvPM, pour 80 tailles de particules (Dm) distinctes de 0,003 µm à 1 µm, doit être calculée en combinant les fractions de pénétration des éléments du système :

$$\eta_{\text{num}}(D_{\text{m}}) = \eta_1 X \eta_{\text{b}1} X \eta_2 X \eta_{\text{b}2} X \eta_3 X \eta_{\text{b}3} X \eta_{\text{cyc}} X \eta_4 X \eta_{\text{b}4} X \eta_6 X \eta_{\text{b}6} X \eta_{\text{VPR}} X \eta_{\text{CPC}} X \eta_{\text{th}_n}$$

où η avec indices se rapporte aux fractions de pénétration de chacun des éléments du système de prélèvement et de mesure de nvPM définies dans le Tableau A8-1. Les procédures pour estimer les fractions de pénétration de chaque élément sont définies dans la section 6 du présent Supplément.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

179 de 185 Page: Révision: 00 Date: 01/04/2020

Note.— En fonction de la géométrie précise du système de prélèvement des nvPM, il peut y avoir davantage d'éléments du système de prélèvement et de mesure décrits individuellement que ce qui est décrit dans le Tableau A8-1.

6. PROCÉDURE POUR DÉTERMINER LES FRACTIONS DE PÉNÉTRATION DANS CHACUN DES ÉLÉMENTS DU SYSTÈME DE PRÉLÈVEMENT ET DE MESURE DE nvPM

6.1 Données requises

Pour calculer l'efficacité du transport des particules sur un éventail de tailles, il faut avoir les caractéristiques du flux, de la tuyauterie d'acheminement et des conditions ambiantes. Une liste de ces paramètres, définis pour chaque section de la tuyauterie, est présentée dans le Tableau A8-2.

Tableau A8-1. Fractions de pénétration des éléments du système de prélèvement et de mesure des nvPM requises

Symbole du paramètre	Description
$\eta_1(D_m)$	Section 1 — De l'entrée de la sonde au diviseur 1
$\eta_{b1}(D_m)$	Section 1 — De l'entrée de la sonde au diviseur 1 pour les coudes
η ₂ (D _m)	Section 2 — Du diviseur 1 à l'entrée du dilueur 1
$\eta_{b2}(D_m)$	Section 2 — Du diviseur 1 à l'entrée du dilueur 1 pour les coudes de la tuyauterie de prélèvement
$\eta_{dil}(D_m)$	Section 2 — Dilueur 1
η ₃ (D _m)	Section 3 — De la sortie du dilueur 1 à l'entrée du séparateur cyclonique
$\eta_{b3}(D_m)$	Section 3 — De la sortie du dilueur 1 à l'entrée du séparateur cyclonique pour les coudes dans la tuyauterie de prélèvement
$\eta_{cyc}(D_m)$	Séparateur cyclonique
η ₄ (D _m)	Section 4 — De la sortie du séparateur cyclonique au diviseur 2
$\eta_{b4}(D_m)$	Section 4 — De la sortie du séparateur cyclonique au diviseur 2 pour les coudes dans la tuyauterie de prélèvement
η ₅ (D _m)	Section 4 — Du diviseur 2 au nvPMmi
$\eta_{b5}(D_m)$	Section 4 — Du diviseur 2 au nvPMmi pour les coudes dans la tuyauterie de prélèvement
η _{≐ ≖}	Section 5 — Due à la perte thermophorétique à l'entrée du nvPMmi
$\eta_6(D_m)$	Section 4 — Du diviseur 2 au VPR
$\eta_{b6}(D_m)$	Section 4 — Du diviseur 2 au VPR pour les coudes dans la tuyauterie de prélèvement
$\eta_{VPR}(D_m)$	Section 5 — VPR
$\eta_{\text{CPC}}(D_m)$	Section 5 — Efficacité de comptage du nvPMni (CPC)
ղ _{ա ո}	Section 5 — Due à la perte thermophorétique à l'entrée du nvPMni



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 180 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

Tableau A8-2. Paramètres d'entrée

Symbole du paramètre	Description	Unités
T _i	Température du gaz porteur à l'entrée du i° segment de la tuyauterie de prélèvement, à l'exception de la partie Collecte. Supposée égale à la température de la paroi de chaque section de la tuyauterie de transport et constante à travers tout le i° segment de la tuyauterie de prélèvement	°C
P_{i}	Pression du gaz porteur dans le i° segment de la tuyauterie de prélèvement, supposée constante à travers toute la i°me section et égale à 101,325 kPa	kPa
Qi	Débit du gaz porteur à travers le i° segment de la tuyauterie de prélèvement	slpm
ID _{ti}	Diamètre intérieur du i° segment de la tuyauterie de prélèvement	mm
L_i	Longueur du i° segment de la tuyauterie de prélèvement	m
θ_{bi}	Angle total des coudes dans le i° segment de la tuyauterie de prélèvement	degrés
η _{VPR} (15), η _{VPR} (30), η _{VPR} (50), η _{VPR} (100)	Fractions de pénétration dans le VPR à quatre diamètres de particules	adimensionnel
η _{CPC} (10), η _{CPC} (15)	Efficacité de comptage du CPC à deux diamètres des particules	adimensionnel

6.2 Fractions de pénétration par diffusion

6.2.1 La diffusion de particules sur la surface des parois de la tuyauterie du système de prélèvement a pour résultat une perte de particules entrant dans un segment de la tuyauterie de prélèvement ou dans un élément. Les fractions de pénétration, $\eta_i(D_m)$, pour pertes diffusionnelles dans des sections allant jusqu'aux entrées des instruments, $\eta_i(D_m)$, i=1,2,3,4,5 et 6 sont calculées en utilisant l'expression :

$$\eta_i(D_m) = e^{\frac{-0.6 \times \pi \times ID_{ti} \times L_i \times V_{diff}}{Q_i}}$$

οù

L_i = longueur du i^e segment de la tuyauterie de prélèvement, m

 $V_{diff} = 1.18 \times Re^{0.875} \times Sc^{0.333} \times \frac{D}{ID_{ti}}$, vitesse de dépôt, cm/s

Sc = $\frac{\mu}{\rho_{\text{max}}D} \times 10^3$, nombre de Schmidt du gaz porteur

mgas = 29,0 kg/mol, masse moléculaire du gaz porteur

P_i = pression du gaz porteur, kPa (supposée être 101,325 kPa)



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 181 de 185 Révision: 00 Date: **0**1/04/2020

6.2.2 Les fractions de pénétration à 80 tailles de particules (Dm) distinctes, de 0,03 μm à 1 μm, doivent être calculées pour les pertes diffusionnelles pour chaque section de tuyauterie applicable.

6.3 Thermophorèse

Une pénétration thermophorétique constante à l'entrée des instruments, $\eta_{th_m}(D_m) = 1$, sera utilisée pour nvPMmi et $\eta_{th_m}(D_m) = 1$ sera utilisé pour nvPMni pour toutes les tailles de particules.

6.4 Perte de particules dans les coudes

6.4.1 On distingue la fraction de pénétration due à des pertes dans les coudes $\eta_{bi}(D_m)$, i=1,2,3,4,5 et 6 pour le flux turbulent, Re supérieur à 5 000, et le flux laminaire, Re inférieur ou égal à 5 000, où Re est le nombre de Reynolds. Pour le flux laminaire où Re est inférieur ou égal à 5 000, la pénétration due à des coudes dans les tuyauteries de transport doit être calculée comme :

$$\eta_{bi} = 1 - 0.01745 \times Stk \times \theta_{bi}$$

Pour le flux turbulent, lorsque Re est supérieur à 5000, la pénétration due à des coudes dans les tuyauteries de transport devrait être calculée comme :

$$\eta_{bi} = e^{-0.04927 \times Stk \times \theta_{bi}}$$

οù

$$Stk = \frac{Q_1 \times C_c \times \rho \times D_m^2 \times 10^{-3}}{27 \times \pi \times u \times 1D_n^2}$$
, nombre de Stokes adimensionnel

θ_{bi} = angle total des coudes dans le t' segment de la tuyauterie de prélèvement, degrés.

6.4.2 Les fractions de pénétration à 80 tailles des particules (Dm) distinctes, de 0,003 μm à 1 μm, seront calculées pour les pertes dans les coudes, comme c'est applicable pour chaque section du système de prélèvement et de mesure.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 182 de 185 Révision: 00 Date: 01/04/2020

6.5 Fonction de pénétration du séparateur cyclonique

6.5.1 La fonction de pénétration du séparateur cyclonique sera estimée en employant l'expression suivante :

$$\eta_{cyc}(D_m) = 1 - \int_{x>0}^{D_m} \frac{e^{-\frac{\left(\ln x - \mu_{cyc}\right)^2}{2\sigma_{cyc}^2}}}{x\sigma_{cyc}\sqrt{2\pi}} dx$$

οù

$$\mu_{csc} = ln(D_{50}), \epsilon n$$

$$\sigma_{cvc} = ln(D_{10}/D_{84})^{0.5}$$

- 6.5.2 Les fractions de pénétration à 80 tailles de particules (Dm) distinctes, de 0,003 µm à 1 µm, seront calculées à partir de la fonction de pénétration dans le cyclone. Le séparateur cyclonique dans le système de prélèvement et d'analyse de nvPM a les spécifications suivantes :
 - a) point de coupure : $D_{50} = 1.0 \mu m \pm 0.1 \mu m$;
 - b) précision : $(D_{16}/D_{84})^{0.5}$ inférieure ou égale à 1,25.
- Note 1.— Les applications informatiques modernes sur feuille de calcul ont la fonction de distribution log-normale cumulative incorporée dans la bibliothèque de fonctions qui peut être utilisée pour générer la fonction de pénétration du séparateur cyclone.
- Note 2.— Pour la plupart des applications d'un moteur à turbine à gaz, Dm sera inférieur à 0,3 μm. Dans de tels cas, la fonction de pénétration dans le cyclone sera effectivement égale à 1,0.

6.6 Fonction de pénétration dans le VPR

Note.— Une fonction de lissage, fournie par le laboratoire d'étalonnage, présentant une bonne qualité d'ajustement (R2 supérieur à 0,95) pour les quatre points de pénétration d'étalonnage du VPR (Tableau A8-3) peut être utilisée à la place de la fonction déterminée par la procédure de calcul exposée ci-dessous. Les pertes de particules dans le VPR sont dues à la fois à la diffusion et à la thermophorèse. Le facteur thermophorétique, ηVPRth, est une constante. Le facteur de diffusion, nVPRdi, est déterminé à partir des pertes de particules standard dues à la diffusion dans un flux laminaire.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 183 de 185

Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

6.6.1 La fonction de pénétration totale dans le VPR sera estimée en utilisant l'expression :

$$\eta_{VPR} = \eta_{VPRth} \times \begin{cases} 1 - 5.5 \times \psi^{\frac{2}{3}} + 3.77 \times \psi & \psi < 0.007 \\ 0.819 \times e^{-11.5\psi} + 0.0975 \times e^{-70.1\psi} + 0.0325 \times e^{-179\psi} & \psi > 0.007 \end{cases}$$

оù

$$Ψ = \frac{6 \times D \times L_{VPR}}{Q_{VPR}}$$
, paramètre de dépôt

 L_{VPR} = longueur effective du VPR, m

 Q_{VPR} = flux du gaz porteur dans le VPR, slpm

T_{VPR} = température du VPR, °C

η_{VPRth} = perte thermophorétique dans le VPR

- 6.6.2 La fonction de pénétration dans le VPR (ηνPR) sera ajustée aux quatre points de pénétration mesurés en faisant varier la longueur effective du VPR (LVPR) et le facteur de perte thermophorétique (ηνPRth). La valeur R2 devrait être supérieure à 0,95 pour assurer un bon ajustement aux pénétrations mesurées.
- 6.6.3 Les fractions de pénétration à 80 tailles de particules (D_m) distinctes, de 0,003 µm à 1 µm, devraient être calculées à partir de la fonction continue du VPR.

6.7 Fraction de pénétration dans le dilueur 1

- 6.7.1 Une pénétration constante dans le dilueur, $\eta_{dil}(D_m) = 1$, sera utilisée pour toutes les tailles de particules.
- 6.7.2 Les fractions de pénétration à 80 tailles de particules (D_m) distinctes, de l'ordre de 0,003 µm à 1 µm, seront utilisées pour la fonction de pénétration dans le dilueur.

Tableau A8-3. Fractions de pénétration minimale admises dans le VPR à quatre diamètres des particules

Diamètre de mobilité électrique des particules, D _m	0,015 μm	0,03 μm	0,05 μm	0,1 μm
Fraction de pénétration minimale, $\eta_{\text{VPR}}(D_m)$	0,30	0,55	0,65	0,70



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 184 de 185
Révision: 00
Date: **0**1/04/2020

6.8 Efficacité de comptage du CPC

6.8.1 Une fonction continue pour l'efficacité de comptage du CPC sera déterminée en utilisant les deux efficacités de comptage du CPC spécifiées avec une fonction sigmoïde à deux paramètres, au moyen de l'expression :

$$\eta_{\mathit{CPC}} = 1 - e^{-\ln(2) \cdot \left[\frac{D_m - D_0}{D_{50} - D_0} \right]}$$

οù

$$D_0 = \frac{\alpha_{10}D_{15} - \alpha_{15}D_{10}}{\alpha_{10} - \alpha_{15}}$$

$$D_{50} = \frac{(\alpha_{15} + 1)D_{10} + (\alpha_{10} + 1)D_{15}}{\alpha_{15} - \alpha_{10}}$$

$$\alpha_i = \frac{ln(1 - \eta_{CPC,i})}{ln(2)}, i = 0.01 \,\mu m \, ou \, 0.015 \,\mu m$$

$$D_{10} = 0.01 \ \mu m$$

$$D_{15} = 0.015 \, \mu m$$

 $\eta_{CPC,10}$ = efficacité du comptage à 0,01 μm

 $η_{CPC,15}$ = efficacité du comptage à 0,015 μm

6.8.2 Les fractions de pénétration à 80 tailles de particules (Dm) distinctes, de l'ordre de 0,003 µm à 1 µm, seront calculées à partir de la fonction continue du CPC.



PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

ÉMISSIONS DES MOTEURS D'AVIATION

Page: 185 de 185 Révision: 00

Date: **0**1/04/2020

FIN